

Bài báo khoa học

## Nghiên cứu xác định trường sóng ven bờ khu vực Bãi Dài – Cam Ranh bằng mô hình toán

Ngô Nam Thịnh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Thị Bầy<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh;  
nnthinh@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hồ Chí Minh

<sup>3</sup> Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM; ntbay@hcmut.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: ntbay@hcmut.edu.vn; Tel.: +84-935071755

Ban Biên tập nhận bài: 7/9/2023; Ngày phản biện xong: 10/10/2023; Ngày đăng bài: 25/11/2023

**Tóm tắt:** Mô hình Swan được ứng dụng tính toán xác định trường sóng tại khu vực Bãi Dài - Cam Ranh phục vụ tính toán dòng chảy ven bờ, đặc biệt là dòng rip. Mô hình toán (mô hình Swan) là phương pháp chủ đạo trong nghiên cứu này, ngoài ra còn có các phương pháp khác như phương pháp thu thập tổng hợp dữ liệu, phương pháp thống kê, phương pháp GIS,... Trường gió tái phân tích khu vực Biển Đông đã được thu thập và là dữ liệu quan trọng trong việc tính toán trường sóng phát sinh do gió. Miền tính lớn là khu vực biển từ Phú Yên đến Bình Thuận và miền tính nhỏ là khu vực Bãi Dài - Cam Ranh (Khánh Hòa). Số liệu sóng thực đo tại vùng ven biển Ninh Thuận năm 2013 và Bãi Dài năm 2012 được sử dụng hiệu chỉnh và kiểm định mô hình với kết quả từ tốt đến rất tốt về hệ số tương quan  $R^2$ , sai số trung bình (RMSE) và chỉ số Nash - Sutcliffe. Mô hình Swan được ứng dụng tính toán đặc trưng sóng chi tiết tại Bãi Dài trong mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Kết quả tính toán đã xác định được vào thời kỳ mùa gió Tây Nam, khu vực Bãi Dài có hướng sóng chủ đạo là hướng Đông Nam với tần suất 96,77% và độ cao sóng  $\leq 0,6$  m có tần suất 89,11%. Trường sóng thời kỳ gió mùa Đông Bắc có hướng chủ đạo là hướng Đông đến Đông Bắc, trong đó hướng Đông Bắc có tần suất lớn nhất 81,72%, độ cao sóng  $> 1,0$  m có tần suất 48,52%.

**Từ khóa:** sóng biển; Swan; Bãi Dài.

### 1. Mở đầu

Hiện nay, khi tính toán dòng chảy ven biển thì không thể không kể đến tác động của sóng biển. Sóng biển được hình thành và phát sinh do trường gió ở ngoài khơi, khi lan truyền vào vùng ven bờ sẽ bị biến đổi do tác động của hình thái địa hình làm xuất hiện các hiện tượng khúc xạ, nhiễu xạ, sự nông dần, sự bề vỡ sóng,... Trong đó, sóng vỡ sẽ hình thành dòng chảy ven bờ do sóng gồm dòng chảy dọc bờ và dòng rip [1–7].

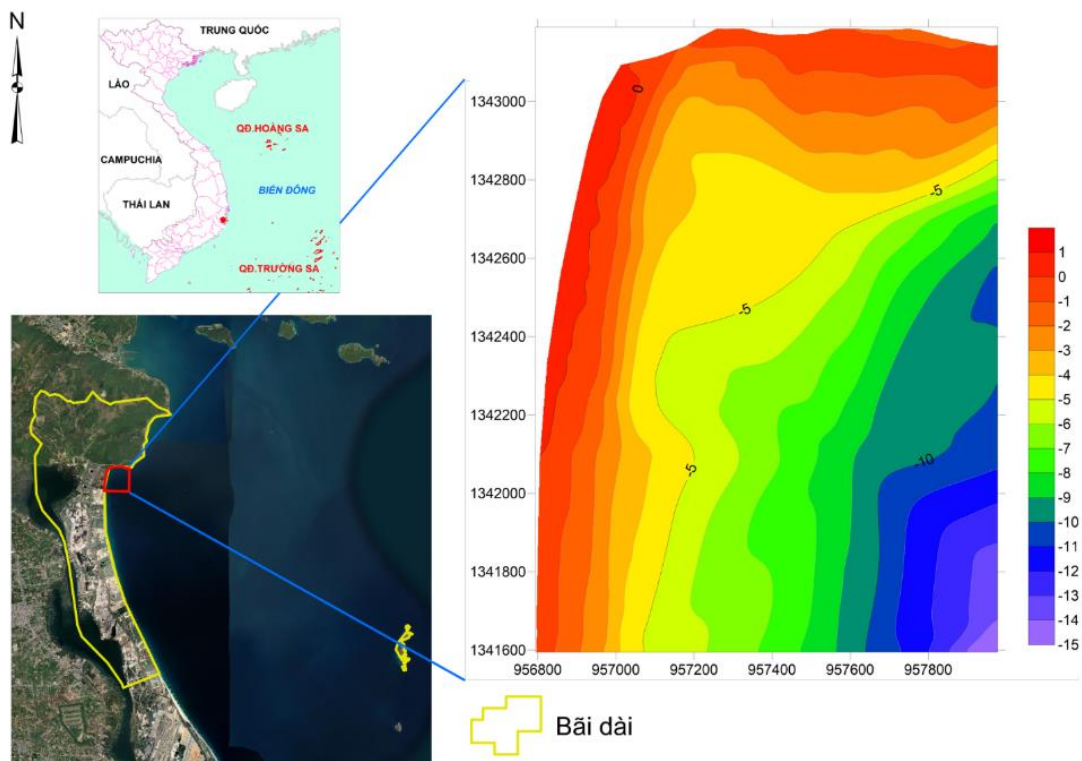
Dòng chảy dọc bờ do sóng là dòng có hướng song song với đường bờ và thường xuyên xuất hiện dưới tác động của sóng. Dòng rip là một dòng đặc biệt của dòng chảy ven bờ, có hướng chảy ra xa bờ và xuất hiện phụ thuộc vào điều kiện hình thành như sóng biển, thủy triều và địa hình, dòng rip là dòng chảy nguy hiểm, nó gây ra các tai nạn đuối nước ở các bãi tắm du lịch [8]. Để nghiên cứu dòng rip thì việc tính toán trường sóng vùng ven bờ là rất cần thiết vì nó là một trong các nguyên nhân chính hình thành dòng rip [1–7].

Ngày nay, mô hình toán đã phát triển vượt trội và được ứng dụng nhiều tại Việt Nam và Thế Giới. Các mô hình tính toán sóng tiêu biểu có thể kể đến như WAM, SWAN,

WAVEWATCH III, MIKE 21 SW, STWAVE, DELFT3D, RCPWAVE, REFDIF-1,...[9–15]. Tại Việt Nam, có rất nhiều nghiên cứu áp dụng các mô hình tính toán mô phỏng trường sóng khu vực Biển Đông. Trong đó, có các nghiên cứu điển hình như: mô hình tính sóng Swan và SuWAT được kết hợp để mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển Miền Trung [16], mô hình Mike 21 SW được ứng dụng tính toán trường sóng tại khu vực ven biển vịnh Nha Trang [8], mô hình WAM tính toán sóng ngoài khơi làm biên đầu vào cho mô hình Mike 21 SW tính toán sóng vịnh Nha trang [17].

Trong các mô hình tính toán sóng, mô hình Swan là một mô hình mã nguồn mở, chuyên về tính toán sóng nước nông và nước sâu, được ứng dụng rộng rãi và mô tả được sự biến đổi của các yếu tố sóng khi đi vào vùng nước nông [18], vì thế, mô hình Swan được lựa chọn với mục tiêu tính toán và đánh giá được tần suất xuất hiện trường sóng vào mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Độ chính xác của mô hình sẽ được đánh giá thông qua số liệu thực đo năm 2012 và 2013, từ đó tính toán trường sóng mùa gió Đông Bắc và Tây Nam năm 2021. Kết quả này là điều kiện đầu vào phục vụ tính toán dòng rip nhằm phòng tránh tai nạn đuối nước cho du khách tại bãi tắm Bãi Dài.

Bãi Dài - Cam Ranh có chiều dài dọc bờ khoảng 11 km, với độ dốc bãi và đáy tương đối thoải và với chất lượng nước trong sạch so với các bãi tắm khác ở thành phố Nha Trang. Theo các nghiên cứu trước, khu vực này có xuất hiện dòng Rip. Vì thế, trường sóng khu vực này sẽ được mô phỏng tính toán và đánh giá chi tiết phục vụ cho tính toán dòng rip.

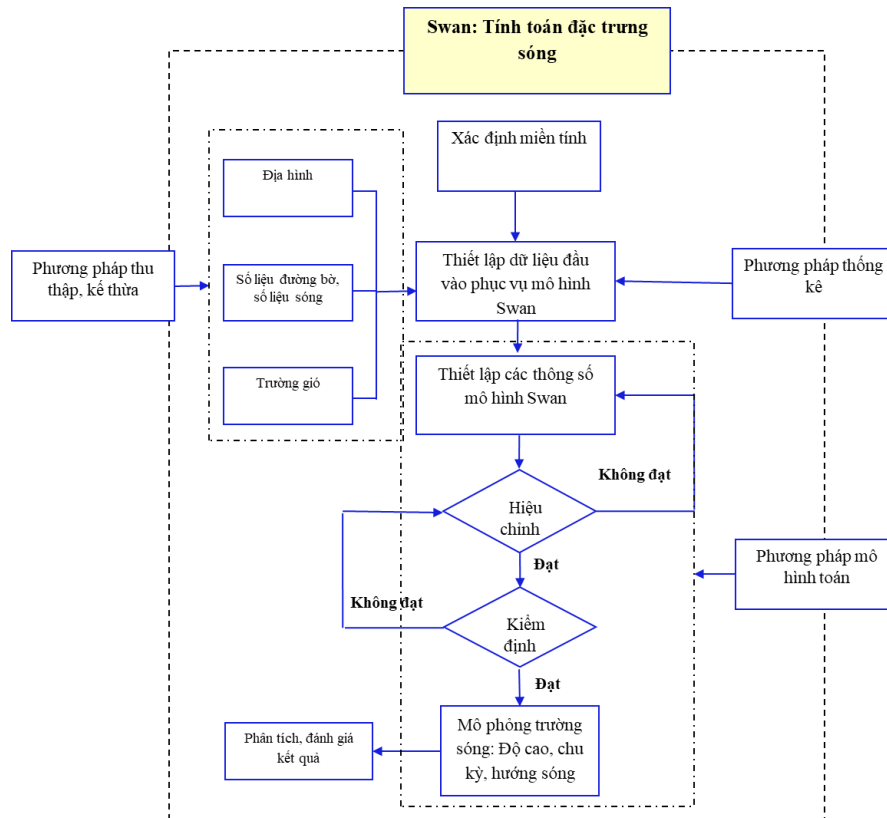


**Hình 1.** Vị trí khu vực nghiên cứu.

## 2. Phương pháp nghiên cứu và số liệu sử dụng

### 2.1. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình Swan [13–14] được ứng dụng tính toán trường sóng chi tiết cho bãi tắm khu vực Bãi Dài theo sơ đồ phương pháp luận như hình 2.

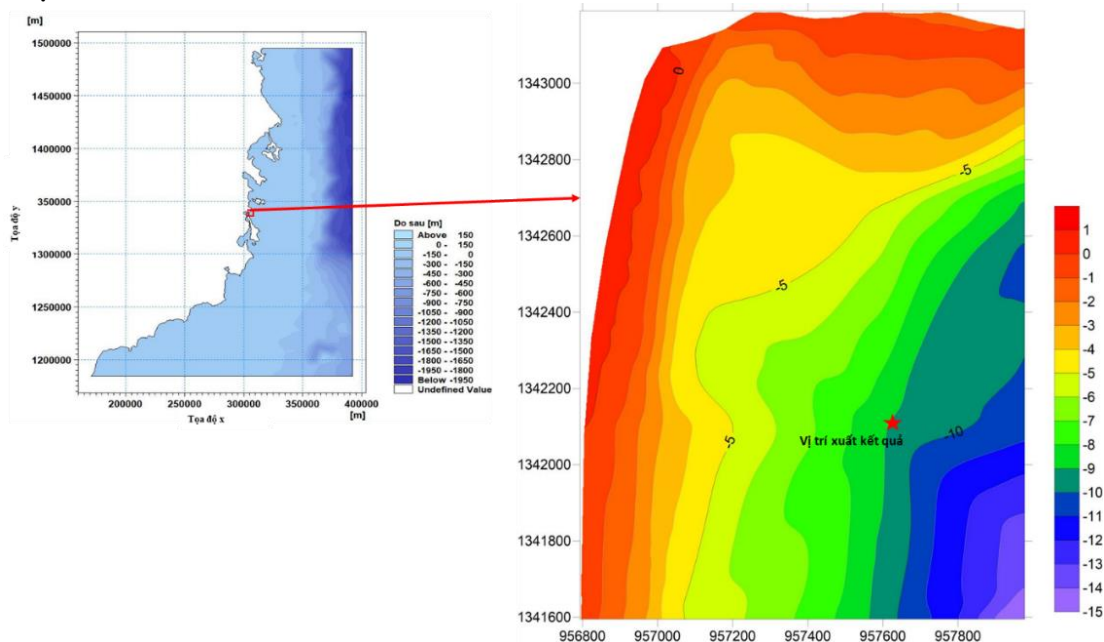


Hình 2. Sơ đồ khối phương pháp luận nghiên cứu.

## 2.2. Dữ liệu tính toán

### 2.2.1. Độ sâu

Độ sâu địa hình chi tiết tại bãi tắm Bãi Dài đo đạc với tỉ lệ 1:1000 từ đề tài “Điều tra, đánh giá hiện tượng dòng RIP (*RIP current*) tại các bãi tắm Khánh Hòa, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng tránh” năm 2012 và độ sâu khu vực lưới tính lớn ngoài khơi kế thừa từ dữ liệu thu thập và xử lý cũng từ đề tài trên [8]. Hình 3 thể hiện địa hình đáy khu vực tính toán.

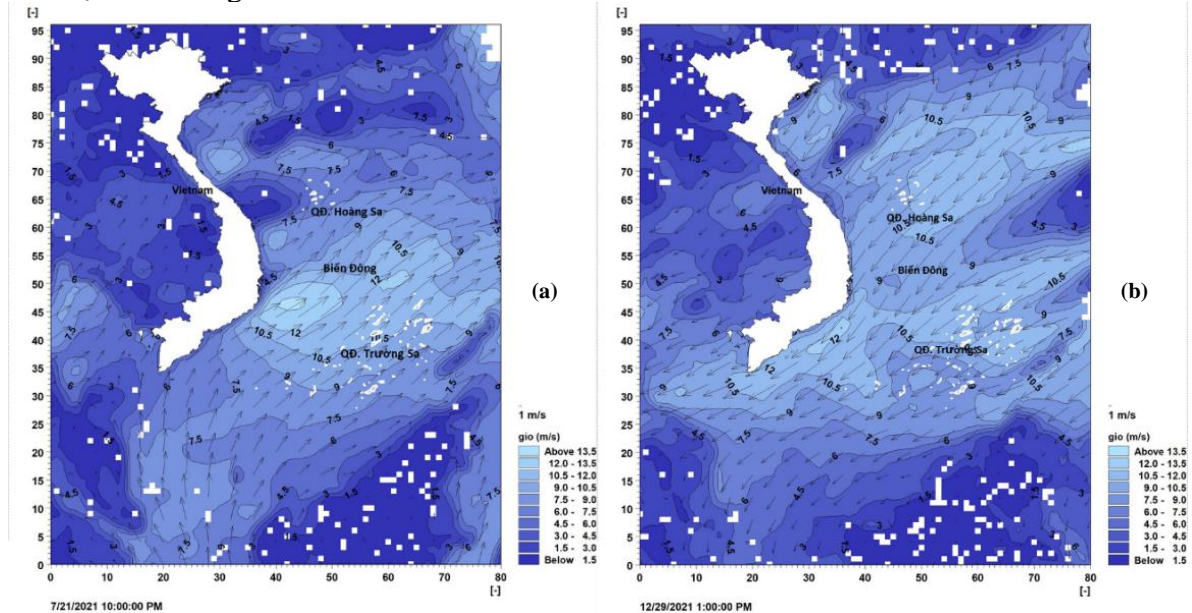


Hình 3. Địa hình và vị trí xuất kết quả tại Bãi Dài.

### 2.3.2. Dữ liệu đầu vào về sóng, gió

- Dữ liệu biên sóng: Đối với miền tính lớn, trường sóng được tính toán từ dữ liệu trường gió tái phân tích khu vực Biển Đông... Đối với miền tính nhỏ, biên lỏng ngoài khơi là kết quả tính toán và trích xuất từ miền tính lớn.

- Số liệu gió: Trường gió thu thập là trường gió tái phân tích (NOAA) năm 2012, 2013 và năm 2021 biến đổi theo không gian và thời gian [20]. Dữ liệu gió thu thập được xử lý và thể hiện như trong Hình 4.



**Hình 4.** Gió tái phân tích khu vực Biển Đông tại thời điểm 10:00 CH ngày 21/07/2021 và 1:00 CH ngày 29/12/2021.

### 2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Mô hình sẽ được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thực đo tại 2 trạm như hình 5.

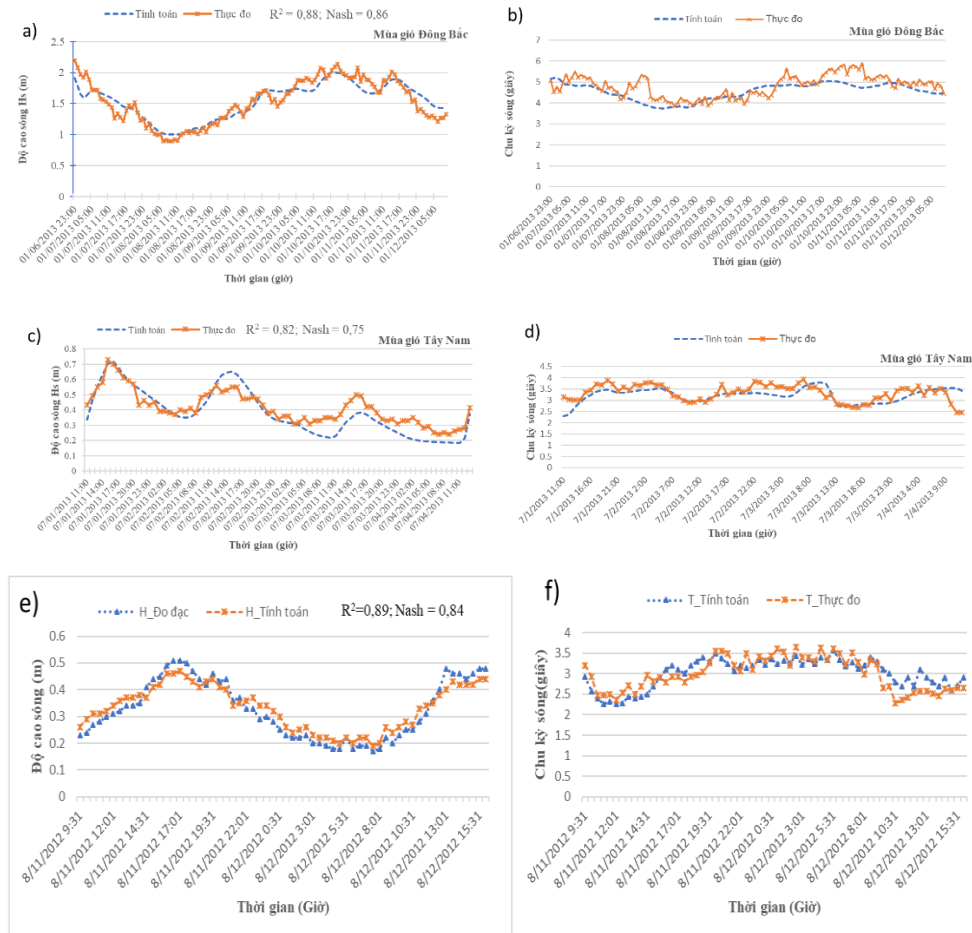
Kết quả hiệu chỉnh mô hình của lưới tính lớn tại điểm đo ven biển Ninh Thuận trong thời gian từ 11:00 CH ngày 6/1/2013 đến 7:00 SA ngày 12/1/2013 (Hình 6a, 6b) cho thấy hệ số tương quan đạt 0,88 và hệ số hiệu quả mô hình Nash đạt 0,86 (Hình 6a) và sai số chu kỳ sóng trung bình RMSE là 5,1% (Hình 6b). Kết quả này được xem xét đánh giá mức độ phù hợp của mô hình [21] cho thấy kết quả hiệu chỉnh tốt.

Mô hình Swan được kiểm định lại với số liệu thực đo trong giai đoạn từ 11:00 SA ngày 1/7/2013 đến 12:00 CH ngày 4/7/2013 của miền tính lớn tại điểm ven biển Ninh Thuận và miền tính nhỏ tại điểm ven biển Bãi Dài trong giai đoạn từ 9:30 SA 11/08/2012 - 16:00 CH 12/08/2012. Kết quả kiểm định cả 2 miền tính đều cho hệ số tương quan trên 0,8 và hệ số hiệu quả mô hình Nash trên 0,75 (Hình 6c, 6e) và sai số chu kỳ sóng trung bình RMSE lần lượt 3,4% (Hình 6d) và 3,2% (Hình 6f). Kết quả kiểm định lại bộ thông số mô hình cũng cho kết quả tốt, vì vậy mô hình Swan tiếp tục được ứng dụng tính toán hiện trạng cho năm 2021.

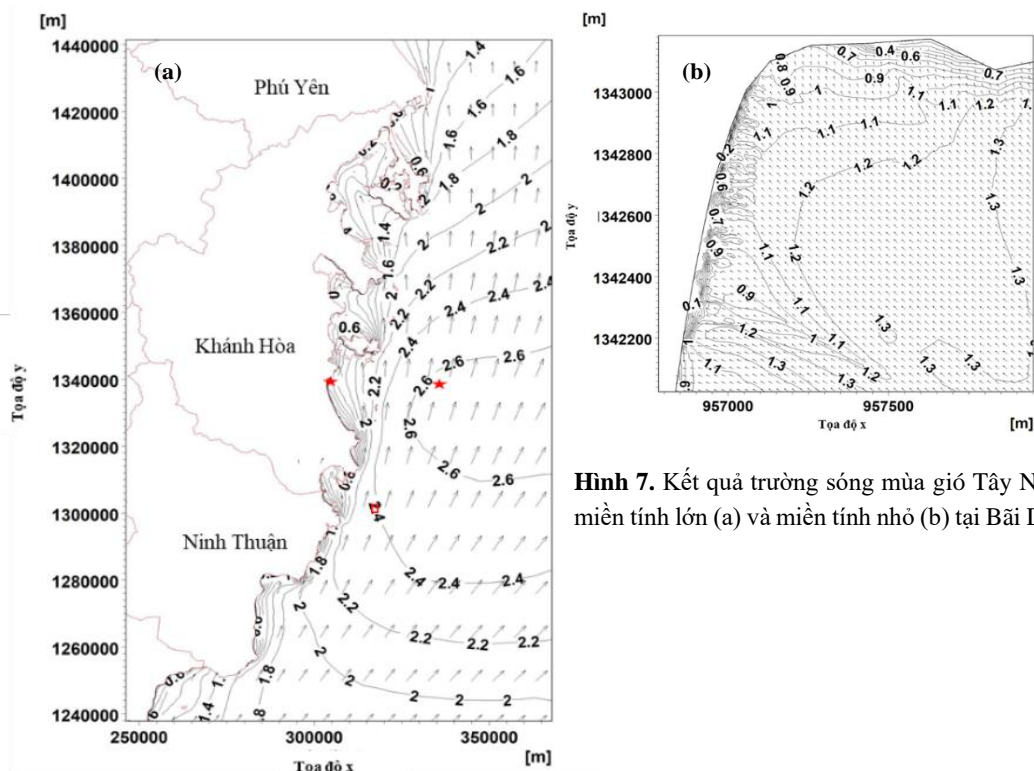


**Hình 5.** Vị trí đo đặc sóng phục vụ hiệu chỉnh và kiểm định.





**Hình 6.** Kết quả (a, b) hiệu chỉnh và (c, d) kiểm định lưới tính lớn tại ven biển Ninh Thuận; (e, f) kiểm định tại điểm đo Bãi Dài (giai đoạn 9:30 SA 11/08/2012 - 16:00 CH 12/08/2012) giữa độ cao sóng và chu kỳ sóng thực đo với kết quả tính toán.

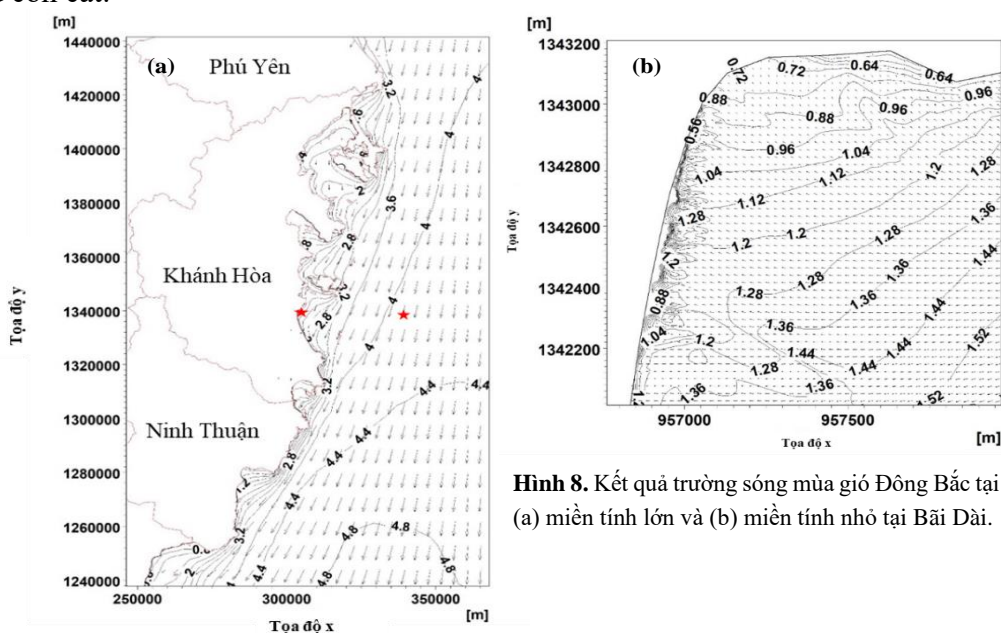


**Hình 7.** Kết quả trường sóng mùa gió Tây Nam miền tính lớn (a) và miền tính nhỏ (b) tại Bãi Dài.

### 3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán trường sóng vào thời kỳ gió mùa Tây Nam tháng 7/2021 cho thấy ở ngoài khơi độ cao sóng dao động trong khoảng 1-2 m, hướng sóng chủ yếu là hướng Tây Nam, chịu tác động bởi chế độ gió mùa Tây Nam (Hình 7a). Tuy nhiên, khi trường sóng lan truyền vào khu vực nghiên cứu ven bờ Bãi Dài, độ cao sóng giảm còn khoảng 0,5-1,2 m, hướng sóng cũng chịu tác động bởi hình thái bờ và địa hình đáy nên hướng sóng chủ yếu là hướng Đông Nam (Hình 7b). Tại khu vực bãi tắm của Bãi Dài, địa hình bắt đầu biến đổi phức tạp, xuất hiện nhiều cồn cát và hình thái địa hình có dạng răng cưa nên độ cao sóng cũng biến đổi khá phức tạp so với khu vực ngoài. Hướng sóng tại ven bờ có khuynh hướng vuông góc bờ do bị tác động của địa hình bãi biển.

Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc, trường sóng được tính toán vào tháng 12/2021 cho thấy độ cao sóng ngoài khơi dao động trong khoảng từ 1-5 m, hướng sóng chủ yếu là hướng Bắc đến Đông Bắc (Hình 8a). Trường sóng vào thời kỳ này khi lan truyền vào vùng ven bờ khu vực nghiên cứu bị tác động một phần của đảo Hòn Tre nên hướng sóng và độ cao sóng đã có sự thay đổi rõ rệt. Hướng sóng đã chuyển sang hướng Đông, độ cao sóng lúc này giảm còn khoảng 0,5-2 m (Hình 8b). Khi trường sóng lan truyền vào khu vực bãi tắm của Bãi Dài, độ cao sóng biến đổi khá phức tạp hơn nhiều so với khu vực ngoài khơi, hướng sóng có khuynh hướng vuông góc với bờ, đây là do tác động của địa hình bãi có nhiều răng cưa và xuất hiện nhiều cồn cát.



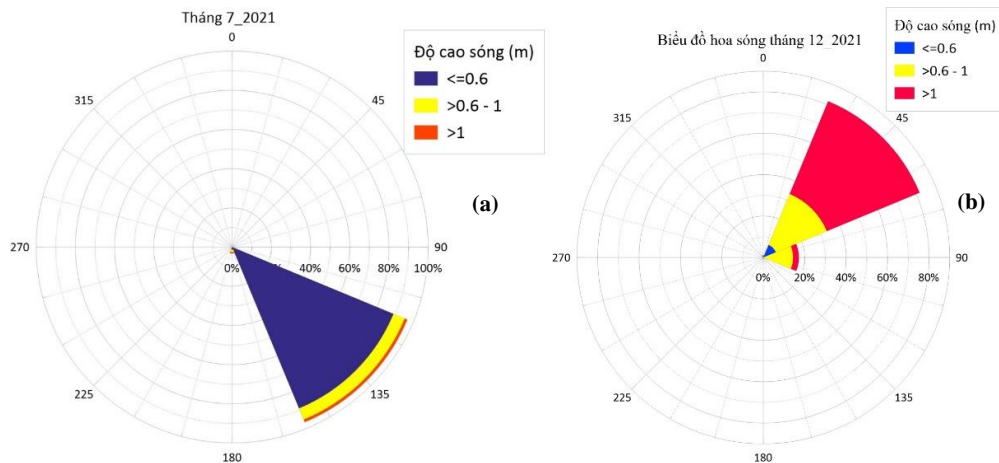
**Hình 8.** Kết quả trường sóng mùa gió Đông Bắc tại (a) miền tính lớn và (b) miền tính nhỏ tại Bãi Dài.

Ngoài ra, mô hình sẽ được trích xuất kết quả tính toán sóng tại vị trí nước sâu của khu vực Bãi Dài (Hình 3) để tính toán xác định tần suất sóng trong hai mùa gió đặc trưng năm 2021.

Kết quả sóng tháng 7/2021 cho thấy hướng sóng chủ đạo là hướng Đông Nam với tần suất lên đến 96,77% còn lại 3,23% là tần suất xuất hiện hướng Nam (Hình 9a). Trong tần suất xuất hiện của hướng Đông Nam, độ cao sóng  $\leq 0,6$  m có tần suất lớn nhất lên đến 89,11%, độ cao sóng từ 0,6 m đến 1,0 m chiếm tần suất khoảng 6,18%, độ cao sóng  $> 1,0$  m chỉ chiếm tần suất 1,48%. Từ kết quả phân tích này, sóng hướng Đông Nam là hướng chủ đạo và đặc trưng cho Bãi Dài vào thời kỳ gió mùa Tây Nam.

Kết quả tính toán trường sóng vào tháng 12/2021 được thể hiện chi tiết trong biểu đồ hoa sóng hình 3,19 và bảng 3,3. Kết quả trường sóng vào tháng 12/2021 cho thấy sóng hướng Đông Bắc có tần suất xuất hiện lớn nhất 81,72%, hướng Đông là 17,2% còn lại một phần rất nhỏ 1,08% là hướng Bắc (Hình 9b). Trong tần suất xuất hiện sóng hướng Đông Bắc, độ cao sóng  $> 1$  m chiếm tần suất đến 48,52%, độ cao sóng từ 0,6 m đến 1,0 m chiếm tần suất

26,61%, còn lại 6,59 % là tần suất xuất hiện của độ cao sóng  $\leq 0,6$  m. Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc, sóng hướng Đông Bắc là hướng chủ đạo và đặc trưng tại khu vực Bãi Dài.



**Hình 9.** Biểu đồ hoa sóng tại vị trí trích xuất (a) tháng 7/2021 và (b) tháng 12/2021.

#### 4. Kết luận

Mô hình Swan đã được ứng dụng mô phỏng tính toán chi tiết sự phân bố trường sóng tại vùng biển Bãi Dài và sự biến thiên sóng theo không gian và thời gian tại giới hạn khu vực nghiên cứu với kết quả khá chính xác (Hệ số tương quan  $R^2$ , chỉ số Nash đều đạt tốt, sai số  $< 10\%$ ). Mô hình Swan đã mô tả tốt được các yếu tố hình thành và phát triển trường sóng biển ở ngoài khơi, sự biến đổi của trường sóng khi lan truyền vào vùng ven bờ.

Kết quả tính toán trường sóng tại Bãi Dài cho thấy trường sóng chịu tác động chủ yếu vào chế độ gió mùa tại khu vực (Đông Bắc và Tây Nam). Tuy nhiên, khi trường sóng lan truyền vào vùng ven bờ, các yếu tố chính của sóng biển không còn giữ nguyên mà bị biến đổi bởi tác động của địa hình đáy biển. Cụ thể, vào thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 7/2021), hướng sóng chính ở ngoài khơi là hướng Tây Nam nhưng khi nào đến khu vực Bãi Dài, hướng sóng lúc này là hướng Đông Nam với tần suất xuất hiện lên đến hơn 95%, độ cao sóng lúc này cũng đã giảm đáng kể. Vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 12/2021), hướng sóng ngoài khơi có hướng Đông Bắc là chủ đạo, khi vào khu vực Bãi Dài hướng sóng gần như không đổi ở vùng nước sâu, nhưng khi vào vùng nước nông ven bờ của Bãi Dài thì hướng sóng gần như là hướng Đông, độ cao sóng lớn hơn so với mùa gió Tây Nam nhưng cũng giảm khi vào ven bờ. Độ cao sóng mùa gió Đông Bắc cao gần như gấp đôi so với độ cao sóng vào mùa gió Tây Nam. Kết quả tính toán này sẽ là điều kiện đầu vào quan trọng trong mô phỏng tính toán sự xuất hiện của dòng chảy ven bờ do sóng cũng như dòng chảy tổng hợp tại khu vực Bãi Dài, trong đó dòng rip sẽ được đánh giá chi tiết trong hệ thống dòng chảy ven bờ tại khu vực Bãi Dài.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.N.T., N.T.B.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.N.T., N.T.B.; Xử lý số liệu: N.N.T.; Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình: N.N.T.; Viết bản thảo bài báo: N.N.T.; Chỉnh sửa bài báo: N.T.B.

**Lời cam đoan:** Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

#### Tài liệu tham khảo

1. Shepard, F.P.; Emery, K.O.; LaFond, E.C. Rip currents: A process of geological importance. *J. Geophys. Res.* **1941**, 49, 337–369.
2. Shepard, F.P.; Inman, D.L. Nearshore circulation. Proceedings of the 1<sup>st</sup> conference on Coastal Engineering, Council on Wave Research, Berkeley, CA. 1950a, 50–59.

3. Shepard, F.P.; Inman, D.L. Nearshore circulation related to bottom topography and Wave refraction. *Transactions American Geophysical Union*, 1950b, 31(4), 196–213.
4. Austin, M.J.; Tim, M.; Russell, S.P.E.; Gerd Masselink, G. RIP current prediction: development, validation, and evaluation of an operational tool. *J. Coastal Res.* **2012**, 29(2), 283–300.
5. Haller, M.C.; Dalrymple, R.A. Rip current dynamics and nearshore circulation. Research Report CACR-99-05, Center for Applied Coastal Research. University of Delaware, 1999.
6. Horikawa, K.; Sasaki, T. Field observation of nearshore current system. *Coastal Eng.* **1972**, 34, 635–651.
7. Castelle, B.; Almar, R.; Dorel, M.; Lefebvre, J.P.; Sénéchal, N.; Anthony, E.J.; Laibi, R.; Chuchla, R.; du Penhoat, Y. RIP currents and circulation on a high-energy low-tide-terraced beach (Grand Popo, Benin, West Africa). *J. Coastal Res.* **2014**, 70, 633–638.
8. Mầu, L.Đ. Điều tra, đánh giá hiện tượng dòng RIP (RIP current) tại các bãi tắm Khánh Hòa, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng tránh. Báo cáo tổng kết đề tài nghiên cứu khoa học cấp tỉnh Khánh Hoà, 2012.
9. Hùng, N.M. và cs. Năng lượng sóng biển khu vực biển Đông và vùng biển Việt Nam. Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2009.
10. Krogstad, H.E.; Barstow, S.F.J.C.E. Satellite wave measurements for coastal engineering applications. *Coastal Eng.* **1999**, 37(3-4), 283–307.
11. Settelmaier, J.B. et al. Simulating waves nearshore (SWAN) modeling efforts at the national weather service (NWS) southern region (SR) coastal weather forecast offices (WFOs). Proceeding of the 91<sup>th</sup> AMS Annual Meeting, Seattle, WA, Paper P13A, 2011.
12. Huân, N.M. Hệ thống nghiệp vụ dự báo ngắn hạn các yếu tố khí tượng thủy văn biển trên Biển Đông. Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Nhà xuất bản ĐHQGHN, 2010.
13. Vinh, V.D.; An, P.H. Ứng dụng mô hình toán nghiên cứu biến động địa hình đáy vùng ven bờ châu thổ sông Hồng. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2013**, 1–11.
14. Thanh, B.; Thịnh, N.N.; Hoàng, T.T. Nghiên cứu tính toán sóng bằng mô hình Delft 3D tại khu vực biển Cần Giờ. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2013**, 641, 37–39.
15. Thịnh, N.N.; Hoàng, T.T.; Phùng, N.K. Nghiên cứu tính toán trường sóng và dòng Rip (Rip Current) khu vực bãi biển Cù Hin. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2014**, 642, 29–32.
16. Thái, T.H.; Trí, Đ.Q.; Hoàng, Đ.V. Nghiên cứu mô phỏng tác động của sóng và nước dâng bão khu vực ven biển miền Trung. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2018**, 687, 1–14.
17. Hoàn, P.S. và cs. Nghiên cứu các đặc trưng của trường sóng trong vịnh Nha Trang bằng mô hình Mike-21. Tuyển tập nghiên cứu biển, 2015.
18. WL/Hydraulics. Simulation of short-crested waves with HISWA or SWAN (SWAN user manual), 2003.
19. E. van Meerendonk (Ed.). Coastal Engineering, DELFT Hydraulics. 1990.
20. National weather service environmental modeling center form: [http://www.https://polar.ncep.noaa.gov/waves/viewer.shtml?-multi\\_2-aus\\_ind\\_phi-](http://www.https://polar.ncep.noaa.gov/waves/viewer.shtml?-multi_2-aus_ind_phi-)
21. Moriasi, D.; Arnold, J.; Van Liew, M.; Bingner, R.; Harmel, R.; Veith, T. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* **2007**, 50(3), 885–900.



## **Research to determine the coastal wave field in the Bai Dai – Cam Ranh area using mathematical models**

**Ngô Nam Thịnh<sup>1,2</sup>, Nguyễn Thị Bay<sup>3\*</sup>**

<sup>1</sup> HCMC University of Natural Resources and Environment; nnthinh@hcmunre.edu.vn

<sup>2</sup> University of Science - VNU.HCM; nnthinh@hcmunre.edu.vn

<sup>3</sup> University of Technology - VNU.HCM; ntbay@hcmut.edu.vn

**Abstract:** The Swan model is applied to calculate and determine the wave field in the Bai Dai - Cam Ranh area to serve the calculation of coastal currents, especially rip currents. Mathematical model (Swan model) is the main method in this research, in addition there are other methods such as data collection method, statistical method, GIS method,... Wind field Reanalysis of the East Sea area has been collected and is important data in calculating the wave field generated by wind. The large calculation region is the coastal area from Phu Yen to Binh Thuan and the small calculation region is the Bai Dai - Cam Ranh area (Khanh Hoa). Real wave data measured in the coastal areas of Ninh Thuan in 2013 and Bai Dai in 2012 were used to calibrate and verify the model with good to very good results in terms of correlation coefficient  $R^2$ , root mean square error (RMSE) and Nash - Sutcliffe index. The Swan model is applied to calculate detailed wave characteristics at Bai Dai during the two prevailing monsoon seasons of 2021. The calculation results have determined that during the Southwest monsoon season, the Bai Dai area has a direction The dominant wave is Southeast with frequency 96.77% and wave height  $\leq 0.6$  m has frequency 89.11%. The wave field during the Northeast monsoon season has the main direction from East to Northeast, of which the Northeast direction has the highest frequency of 81.72%, wave heights  $> 1.0$  m has a frequency of 48.52%.

**Keywords:** Wave; Swan; Bai Dai.