

Bài báo khoa học

Nghiên cứu các quá trình thủy động lực tích hợp (sóng, dòng chảy và mực nước) bằng MIKE 21/3 coupled model FM vùng biển Đà Nẵng

Hoàng Thái Bình¹, Đào Đình Châm^{1,2}, Đào Thị Thảo¹, Lê Đức Hạnh¹, Nguyễn Thái Sơn¹, Nguyễn Minh Huân³, Nguyễn Quốc Trinh^{1,2*}

¹ Viện Địa lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST);
hoangthaibinh@yahoo.com; chamvdl@gmail.com; thaodt010@wru.vn;
hanhvd@gmail.com; nguyenthaison99@gmail.com; maitrinhvinh@gmail.com

² Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, số 334 Nguyễn Trãi,
Thanh Xuân, Hà Nội; nmhuan61@gmail.com

*Tác giả liên hệ: maitrinhvinh@gmail.com; Tel: +84-989202527

Ban Biên tập nhận bài: 05/12/2021; Ngày phản biện xong: 04/01/2022; Ngày đăng bài: 25/3/2022

Tóm tắt: Nghiên cứu này giải quyết bài toán hai chiều về chế độ thủy động lực tích hợp (sóng, dòng chảy và mực nước) khu vực biển Đà Nẵng bằng mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM của DHI. Đây là một mô hình hiện đại đã và đang được áp dụng nghiên cứu mạnh mẽ ở Việt Nam và nhiều nước trên thế giới. Mô hình đã được áp dụng tính toán hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu khảo sát thực địa và trạm quan trắc Hải văn Sơn Trà (tháng 05/2021) để tìm ra bộ thông số phù hợp cho kết quả chỉ số Nash và tương quan trên 70% của hiệu chỉnh và 75% của kiểm nghiệm. Từ đó, nghiên cứu sử dụng để mô phỏng chế độ thủy động lực khu vực biển Đà Nẵng biến động theo gió mùa Tây Nam và gió mùa Đông Bắc. Các đặc trưng chế độ thủy động lực cũng cho thấy thể hiện tính chất mùa rõ nét và hình thành các hoàn lưu ven bờ với quy mô lớn nhỏ khác nhau tùy vào từng thời điểm. Nhìn chung, kết quả này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về thủy động lực ba chiều, hệ thống hoàn lưu ven bờ (dòng RIP), vận chuyển bùn cát và biến đổi địa hình, bài toán ô nhiễm môi trường, sinh thái.

Từ khóa: MIKE 21/3 Couple model FM; Mô phỏng; Thủy động lực; Đà Nẵng.

1. Mở đầu

Hiện nay, có rất nhiều nghiên cứu trong lĩnh vực hải dương ứng dụng các mô hình hình toán để giải quyết vấn đề trong và ngoài nước. Các mô hình mô phỏng thể hiện phản ánh được bức tranh tổng thể toàn cảnh khu vực nghiên cứu sóng động và chi tiết cụ thể. Ở Việt Nam, mô hình hoá đã và đang được áp dụng rộng rãi trong nghiên cứu và tính toán mô phỏng chế độ thủy động lực đơn lẻ và tích hợp sóng, dòng chảy và mực nước [1–3]. Trong đó, mô hình MIKE là bộ mô hình mô phỏng về các hoạt động của nước do viện Thủy lực Đan Mạch xây dựng. Bộ mô hình này được tích hợp gồm rất nhiều các mô hình thành phần giúp mô phỏng các quá trình thủy văn, thủy động lực học, vận chuyển bùn cát, môi trường, sinh thái. Trong đó, mô hình MIKE 21/3 Coupled Model FM mô phỏng chế độ thủy động lực hai chiều (sóng, dòng chảy và mực nước) vùng ven biển. Mô hình MIKE 21/3 Couple FM là hệ thống liên kết động có thể kết nối các mô hình động lực (MIKE 21FM) [4–5] và

mô hình sóng (MIKE 21SW) mà việc liên kết động các mô hình cho phép tính toán tương tác qua lại lẫn nhau giữa các quá trình như tương tác sóng và dòng chảy. Hiện nay, mô hình này được ứng dụng khá rộng rãi ở Việt Nam trong các công trình nghiên cứu [6] đến các đề tài các cấp trải dài dọc ven biển [7–11].

Tuy nhiên, trong bối cảnh biến đổi khí hậu những năm gần đây, khu vực nghiên cứu đang phải chịu ảnh hưởng của nhiều loại hình thiên tai nguy hiểm và khắc nghiệt hơn như bão, lũ, mực nước biển dâng, bồi tụ-xói lở bờ biển,... mà những hiện tượng thiên tai này lại liên quan mật thiết đến chế độ thủy động lực vùng ven biển nói chung, trong đó có Đà Nẵng gây ảnh hưởng mạnh mẽ đến quá trình phát triển kinh tế biển của thành phố, đặc biệt là ảnh hưởng đến phát triển du lịch vùng biển [12–14]. Mà vùng biển Đà Nẵng có hoạt động kinh tế hàng hải, du lịch rất phát triển mang lại thu nhập lớn cho thành phố. Do đó, để tiếp cận làm sáng tỏ và hiểu biết về các quy luật và hoạt động của tự nhiên, trong đó có các quá trình thủy động lực dân nhằm giảm thiểu thiệt hại của thiên tai và thúc đẩy kinh tế địa phương.

Vậy, thiết lập nghiên cứu các quá trình thủy động lực tích hợp (sóng, dòng chảy và mực nước) bằng MIKE 21/3 coupled model FM vùng biển Đà Nẵng với mục đích làm sáng tỏ phần nào quá trình thủy động lực khu vực biển Đà Nẵng là cần thiết. Các bước tiến hành và kết quả đạt được sẽ được trình bày dưới đây.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu sử dụng

2.1. Khu vực nghiên cứu

Đà Nẵng là thành phố ven biển với đường bờ biển dài 70 km, một thành phố trực thuộc trung ương, nằm trong vùng Duyên hải Nam Trung Bộ Việt Nam, trải dài từ $15^{\circ}15'$ – $16^{\circ}40'$ vĩ Bắc và từ $107^{\circ}17'$ – $108^{\circ}20'$ kinh Đông, trên trục giao thông Bắc–Nam về đường bộ, đường sắt, đường biển và đường hàng không, là một trong những cửa ngõ quan trọng ra biển của Tây Nguyên và các nước Lào, đông bắc Campuchia, Thái Lan và Myanmar (Hình 1) [15].



Hình 1. Bản đồ hành chính TP. Đà Nẵng.

Năm 2005, biển Đà Nẵng đã được tạp chí Forbes bình chọn là một trong sáu bãi biển đẹp nhất hành tinh, với những khu du lịch sinh thái, hiệu địa danh du lịch tâm linh nổi tiếng cùng nhiều khu nghỉ dưỡng rất sang trọng. Đà Nẵng nằm ở trung tâm của tam giác di sản văn hoá thế giới, hệ thống giao thông đường bộ, đường hàng không, đường thủy ngày càng mở rộng và hoàn thiện hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho du lịch biển phát triển [15].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Mô hình kết hợp MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM là hệ thống mô hình động lực có thể áp dụng cho vùng cửa sông, ven biển và trong sông [1–3, 16]. Bộ mô hình gồm các mô đun sau: Mô đun dòng chảy (MIKE 21 FM); Mô đun tải khuếch tán; Mô đun chất lượng nước và sinh thái học; Mô đun vận chuyển bùn, cát; Mô đun phổ sóng (MIKE 21 SW). Mô đun dòng chảy và phổ sóng là hai thành phần cơ bản của mô hình MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM. Mô hình này cho phép tính toán tương tác giữa sóng và dòng chảy bằng việc sử dụng kết hợp giữa mô đun dòng chảy và mô đun sóng. Sự kết hợp giữa các mô đun của mô hình cho phép mô phỏng sự tương tác qua lại đầy đủ của những thay đổi về độ sâu đến tính toán sóng cũng như dòng chảy nên độ chính xác của mô hình cũng được nâng cao so với các mô hình khác.

- Mô đun dòng chảy MIKE 21 FM [4, 5, 16]: là mô đun cơ bản tính toán trường động lực dòng chảy với cách tiếp cận mặt lưới linh hoạt dạng tam giác phi cấu trúc. Mô đun này được ứng dụng nghiên cứu cho hải dương học, môi trường vùng cửa sông ven biển. Mô đun gồm có hai phương trình chính là phương trình liên tục và phương trình động lượng.

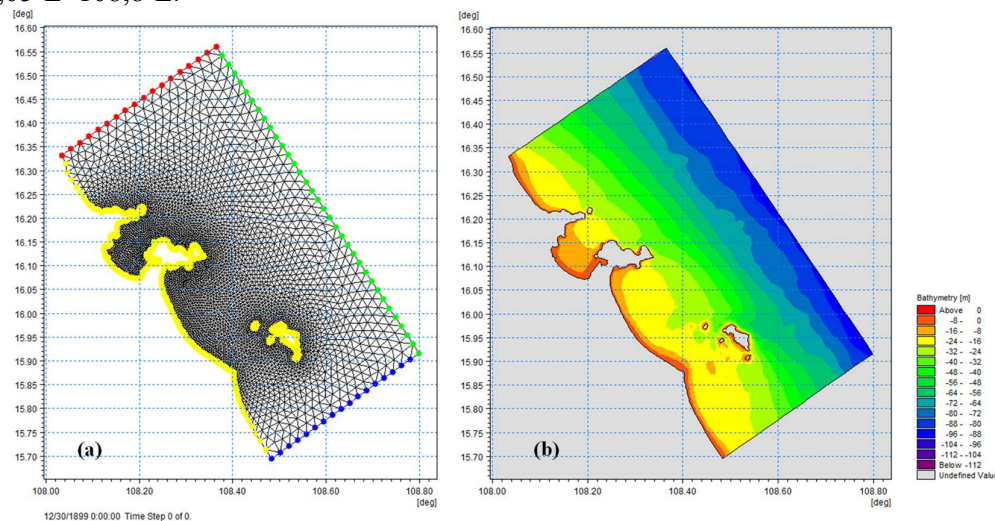
- Mô đun sóng MIKE 21 SW [1, 16]: là mô đun tính phổ sóng gió được tính toán dựa trên lưới phi cấu trúc. Mô đun này tính toán sự phát triển, suy giảm và truyền sóng gió và sóng lừng ở ngoài khơi và khu vực ven bờ.

2.3. Dữ liệu sử dụng

- Số liệu độ sâu và đường bờ của khu vực vùng ven biển và cửa sông thành phố Đà Nẵng và lân cận được thu thập và số hoá từ các bản đồ địa hình đáy biển (hải đồ) từ các tỷ lệ khác nhau tỷ lệ 1:100000 và 1:25000 do Cục Đo đạc Bản đồ và Bộ Tư lệnh Hải quân Quân đội nhân dân Việt Nam xuất bản. Những dữ liệu từ những mảnh bản đồ trên giấy và đã được quét vào máy tính và số hóa. Các dữ liệu chuyển thành các dạng số hóa lưu trên máy tính được xử lý và chỉnh biên thành hệ thống nhất từ các mảnh bản đồ rời rạc [17]. Từ số liệu sau khi đã được xử lý dùng xây dựng lưới tính và miền tính (Hình 2a). Khu vực nghiên cứu được thể hiện trường độ sâu sau khi đã xây dựng được lưới tính và miền tính (Hình 2b).

- Số liệu dùng cho các biên: là mực nước thủy triều được lấy từ mô hình phân tích hằng số điều hoà [18]; Số liệu sóng ngoài khơi tại điểm E được lấy từ mô hình toàn cầu WaveWatch III (Hình 2c) [19]. Số liệu sóng và mực nước tại trạm AWAC [20] và trạm Sơn Trà [21] là để hiệu chỉnh, kiểm định mô hình Mike 21/3 couple (Hình 2d).

Để thuận lợi cho việc tính toán, mô phỏng các quá trình thủy–động lực ở vùng nghiên cứu, miền tính toán được mở rộng ra ngoài phía biển khoảng 50 km nhằm giảm sai số của biên ảnh hưởng đến kết quả mô phỏng của mô hình. Tọa độ miền tính từ 15,7°N–16,6°N và 108,05°E–108,8°E.





Hình 2. Các điều kiện đầu vào và so sánh trong khu vực nghiên cứu: (a) Miền và lưới tính khu vực nghiên cứu; (b) Địa hình khu vực nghiên cứu; (c) Vị trí biên sóng; (d) Vị trí trạm hiệu chỉnh–kiểm định.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm nghiệm

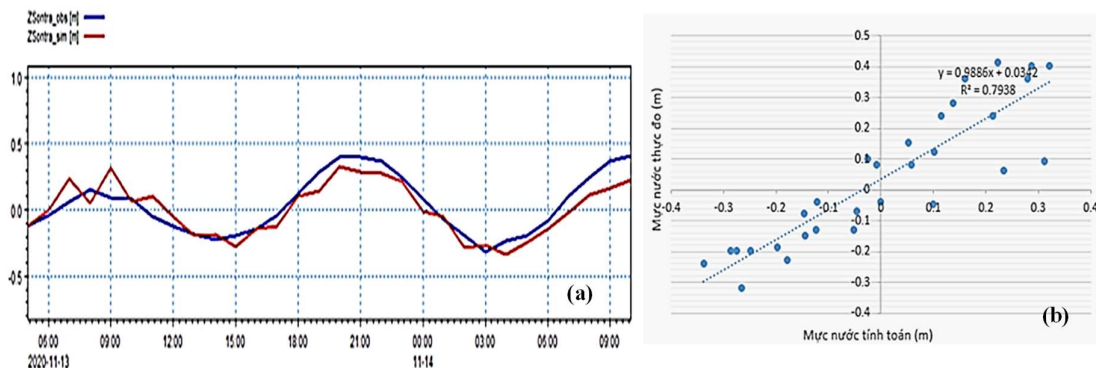
a) Kết quả hiệu chỉnh: Mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM được thiết lập tính toán mô phỏng cho khu vực nghiên cứu vùng biển Đà Nẵng. Các dữ liệu sử dụng đánh giá hiệu chỉnh là:

- Thời gian hiệu chỉnh mực nước triều từ tháng 11/2020 (từ 13/11/2020–14/11/2020) tại trạm mực nước Sơn Trà (Hình 3);
- Thời gian hiệu chỉnh mô hình sóng tháng 5/2021 (từ 02/05/2021–09/05/2021) tại trạm AWAC (Hình 4).

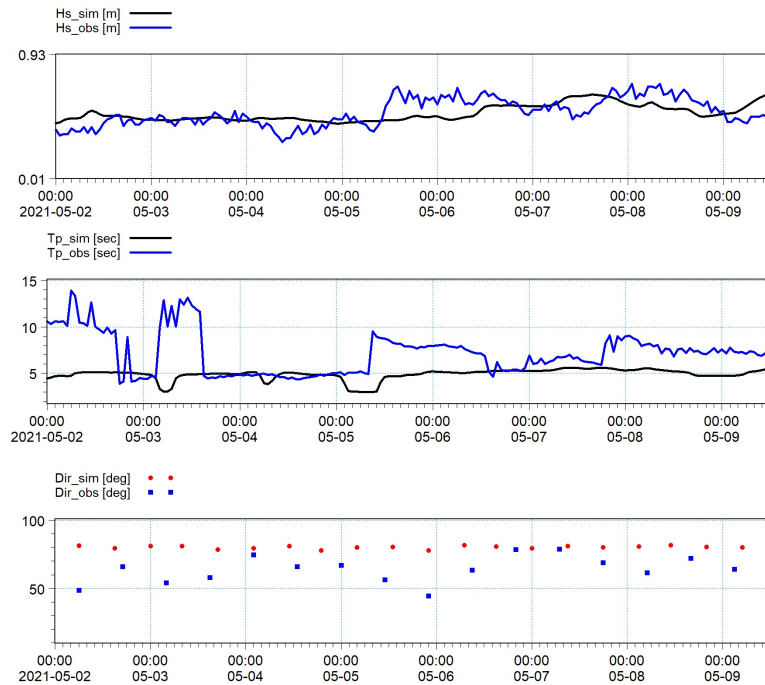
Kết quả hiệu chỉnh phản ánh tương đối chất lượng có độ đảm bảo chính xác tốt như thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả hiệu chỉnh mô hình Mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM.

TT	Yếu tố	Hệ số Nash	Hệ số tương quan
1	Mực nước trạm Sơn Trà	0,762	0,7938
2	Sóng trạm đo AWAC	0,712	0,7653



Hình 3. Kết quả hiệu chỉnh mực nước giữa thực đo và tính toán tại trạm Sơn Trà từ 13/11/2020 đến 14/11/2020: (a) Biểu trình mực nước (thực đo là đường xanh–tròn; tính toán là đường đỏ–không tròn); (b) Tương quan mực nước giữa thực đo và tính toán.



Hình 4. Kết quả hiệu chỉnh của đặc trưng sóng (Hs, Tp, Dir) thực đo và tính toán tại trạm AWAC từ 02/05/2021 đến 09/05/2021 (thực đo là đường màu xanh –không trơn; tính toán là đường màu đen–trơn).

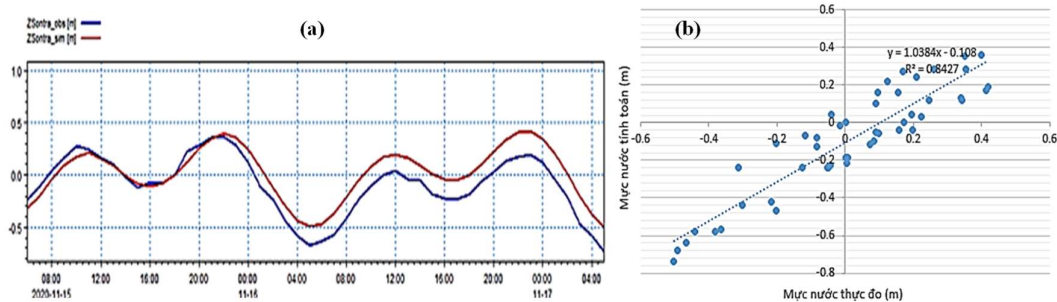
b) Kiểm định: Bộ thông mô hình sau khi được hiệu chỉnh sẽ được sử dụng để tính toán kiểm nghiệm như sau:

- Thời gian kiểm định mực nước triều từ tháng 11/2020 (từ 15/11/2021–17/11/2021) tại trạm mực nước Sơn Trà (Hình 5) ;
- Thời gian kiểm định mô hình sóng tháng 5/2021 (từ 19/5/2021–31/05/2021) tại trạm AWAC (Hình 6).

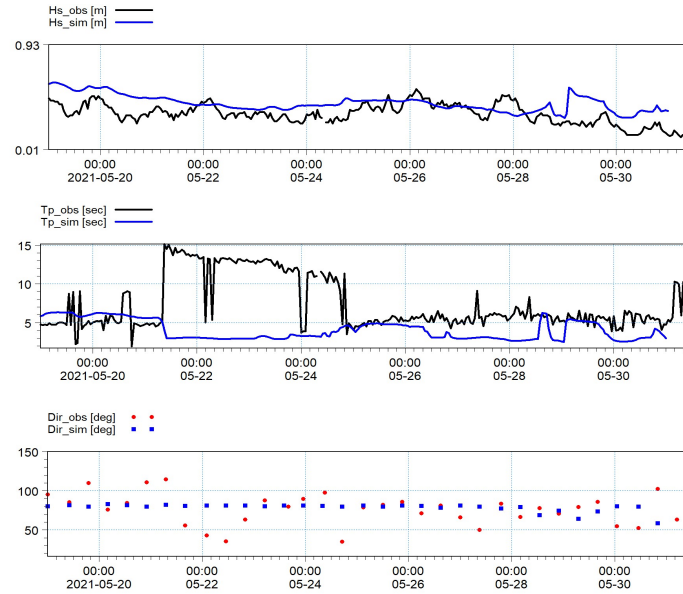
Kết quả kiểm nghiệm cho thấy tương đối chất lượng có độ đảm bảo chính xác tốt như thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả kiểm nghiệm mô hình Mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM.

TT	Yếu tố	Hệ số Nash	Hệ số tương quan
1	Mực nước trạm Sơn Trà	0,795	0,8427
2	Sóng trạm đo AWAC	0,762	0,7945



Hình 5. Kết quả kiểm nghiệm mực nước giữa thực đo và tính toán tại trạm Sơn Trà từ 15/11/2020 đến 17/11/2020: (a) Biến trình mực nước (thực đo là đường xanh–trơn; tính toán là đường đỏ–không trơn); (b) Tương quan mực nước giữa thực đo và tính toán.



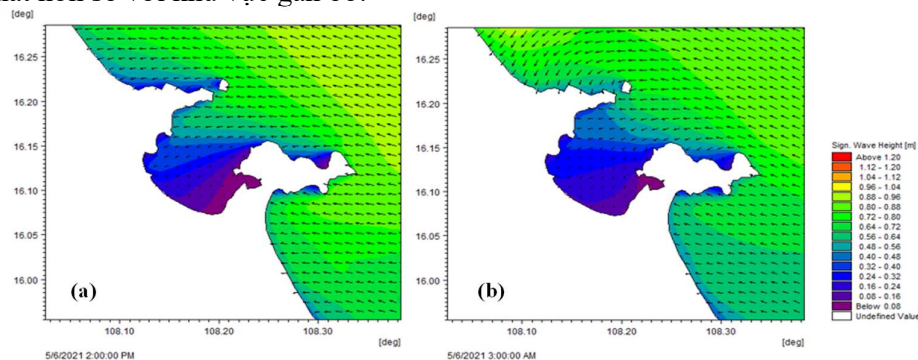
Hình 6. Kết quả kiểm nghiệm của đặc trưng sóng (Hs, Tp, Dir) thực đo và tính toán tại trạm AWAC từ 19/05/2021 đến 31/05/2021 (tính toán là đường màu xanh–không trơn; thực đo là đường màu đen–trơn).

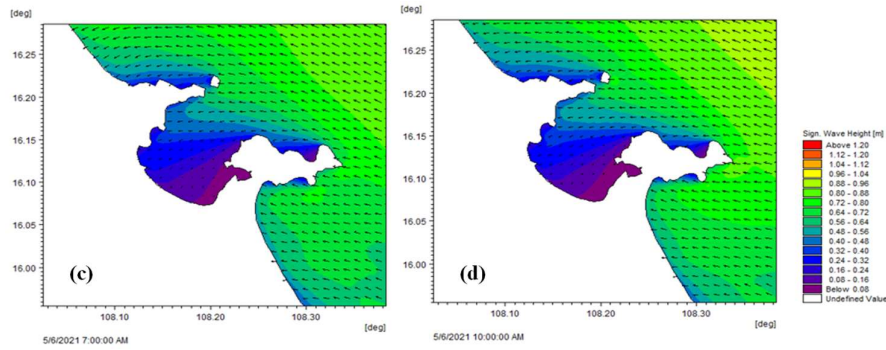
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho kết quả tại điểm khảo khá tốt, như vậy có thể sử dụng bộ thông số của mô hình để tính toán chế độ thủy động lực cho khu vực bờ biển Đà Nẵng.

3.2. Kết quả tính toán trong mùa gió Tây Nam

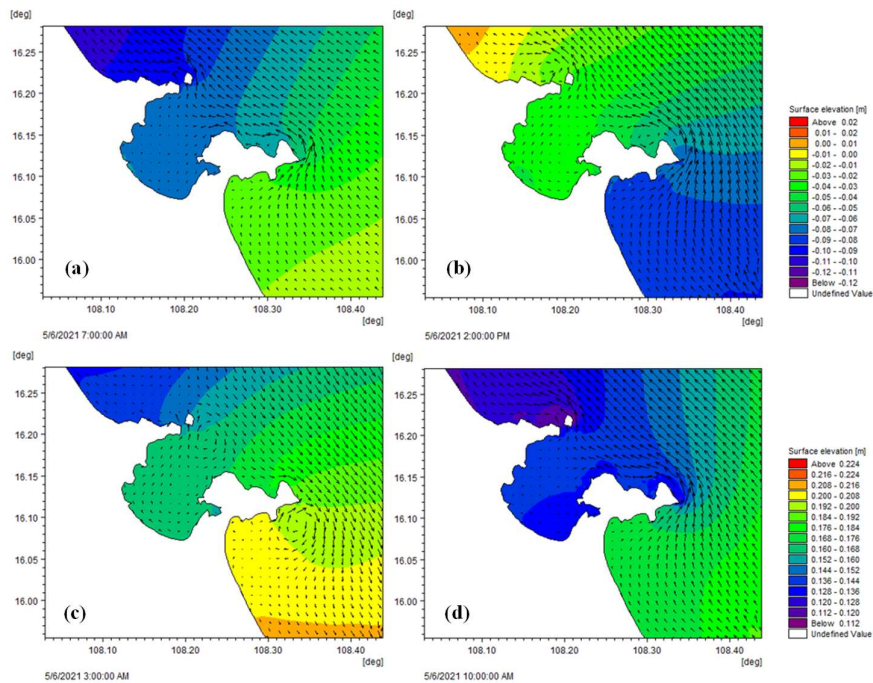
Qua kết quả mô phỏng trường sóng cho thấy, vùng ven bờ biển Đà Nẵng chịu ảnh hưởng khá rõ rệt của thủy triều. Khu vực nghiên cứu có chế độ bán nhật triều không đều, mỗi ngày lên xuống 2 lần, biên độ dao động khoảng 0,6 m, lớn nhất đạt trên 1,4 m. Vào mùa gió mùa Tây Nam khu vực này hướng sóng chủ yếu là Nam, Đông Nam và Đông tác động chủ yếu đến khu vực (Hình 7). Trong đó hướng sóng Đông và Đông Nam là 2 hướng sóng chiếm tần suất khá lớn. Trong năm sóng có độ cao lớn thường tập trung vào mùa hè, lớn nhất vào tháng VII và IX. Và do hiện tượng khúc xạ sóng, khi tiến vào vùng nước nông, hướng sóng có khuynh hướng trực giao với đường đẳng sâu.

Về chiều cao sóng: Chiều cao sóng gió mùa Tây Nam bé hơn so với độ cao sóng trong mùa gió Đông Bắc, thậm chí có lúc chỉ bằng $\frac{1}{2}$ so với GMĐB. Vào mùa hè, dòng chảy ven bờ nhìn chung có hướng từ Nam lên Bắc (Hình 8). Tuy nhiên do ảnh hưởng của hình thái đường bờ và địa hình đáy mà từng nơi xuất hiện các hướng chảy riêng biệt, có nơi dòng chảy lệch với hướng chủ đạo tạo nên các dòng chảy quần. Ở khu vực ngoài khơi, trường dòng chảy đồng nhất hơn so với khu vực gần bờ.





Hình 7. Kết quả mô phỏng trường sóng mùa gió Tây Nam: (a) Thời kỳ trường sóng lúc triều lên; (b) Thời kỳ Trường sóng lúc đỉnh triều; (c) Thời kỳ trường sóng lúc triều xuống; (d) Thời kỳ trường sóng lúc chân triều.



Hình 8. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy mùa gió Tây Nam: (a) Thời kỳ trường dòng chảy lúc triều rút; (b) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc triều lên; (c) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc đỉnh triều; (d) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc chân triều.

3.3. Kết quả tính toán gió mùa Đông Bắc

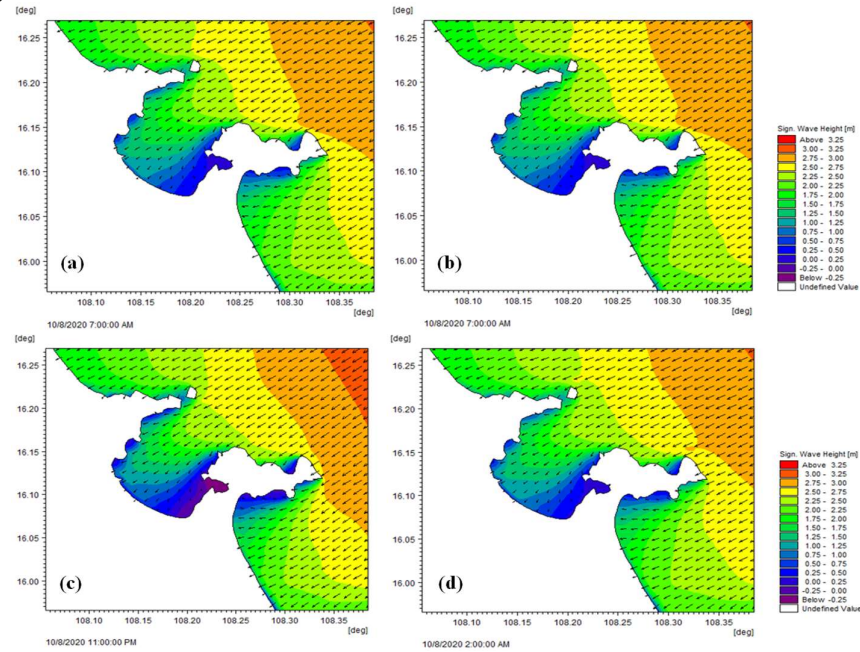
Qua kết quả mô phỏng cho thấy, vùng ven biển chịu ảnh hưởng khá nhiều của chế độ thủy triều. Trong một ngày, khi triều dâng sóng có khả năng tiến sát vào trong bờ và khi triều rút thì sóng ở cách bờ khá xa.

Hướng sóng ngoài khơi chủ yếu là hướng Đông, Đông–Đông Bắc và Đông Nam, nhưng chủ yếu là hướng Đông Bắc trùng với hướng gió mùa Đông Bắc (Hình 9). Do ảnh hưởng của hiện ứng khúc xạ sóng, các hướng sóng ngoài khơi có thể khác nhau nhưng khi tiến vào vùng nước nông, hướng sóng có khuynh hướng trực giao với đường đẳng sâu. Vì vậy sóng ở các khu vực gần bờ có hướng nằm trong cung Đông Đông Bắc–Đông–Đông Nam.

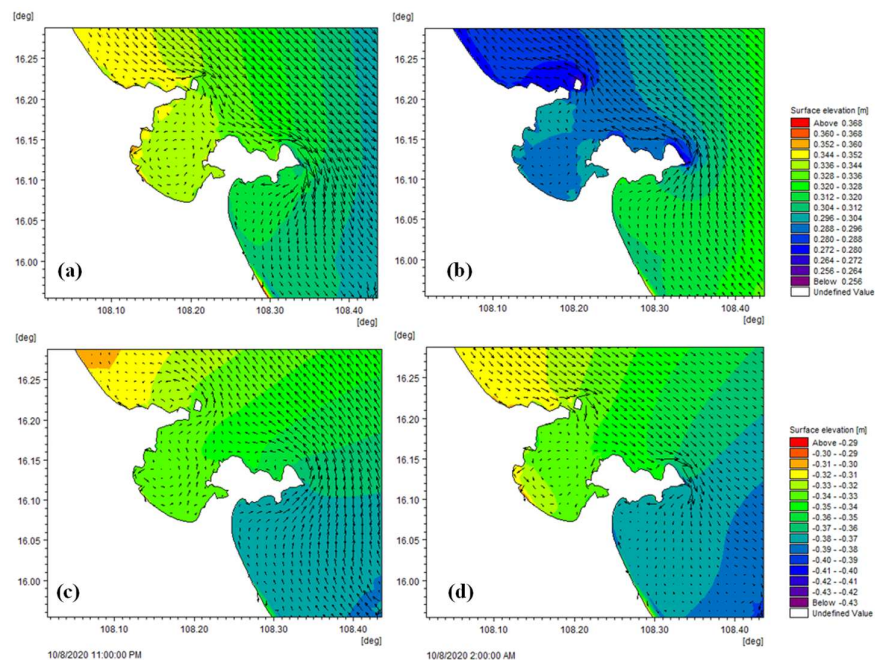
Chiều cao sóng gió mùa Đông Bắc cao hơn hẳn trong thời kỳ gió mùa Tây Nam, chiều cao sóng ngoài biển lớn nhất khoảng từ 2,6–3,0 m chiếm tần suất lớn và chiều cao sóng ven bờ từ 0,25–0,7 m là chủ yếu. Khi sóng ngoài biển truyền vào gần bờ, sóng bị biến dạng và

khúc xạ, độ cao sóng giảm dần từ ngoài khơi vào khu vực gần bờ do hiệu ứng sóng vỡ và ma sát đáy khá lớn.

Vào mùa đông, dòng chảy ven bờ nhìn chung có hướng từ Bắc xuống Nam (Hình 10). Tuy nhiên, tương tự như mùa hè, do ảnh hưởng của hình thái đường bờ và địa hình đáy mà từng nơi xuất hiện các hướng chảy riêng biệt, có nơi dòng chảy lệch với hướng chủ đạo tạo nên các dòng chảy hoàn lưu. Ở khu vực ngoài khơi, trường dòng chảy đồng nhất hơn so với khu vực gần bờ.



Hình 9. Kết quả mô phỏng trường sóng mùa gió Đông Bắc: a) Thời kỳ Trường sóng lúc triều lên; b) Thời kỳ Trường sóng lúc đỉnh triều; c) Thời kỳ Trường sóng lúc triều xuống; d) Thời kỳ Trường sóng lúc chân triều.



Hình 10. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy mùa gió Đông Bắc: a) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc triều lên; b) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc đỉnh triều; c) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc triều xuống; d) Thời kỳ Trường dòng chảy lúc chân triều.

4. Kết luận

Bộ mô hình MIKE, trong đó có mô hình MIKE 21/3 COUPLED MODEL FM là một công cụ mạnh trong việc tính toán, mô phỏng dòng chảy 2 chiều trong đó có sự tương tác giữa yếu tố sóng và dòng chảy bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Kết quả nghiên cứu thông qua quá trình mô phỏng thủy động lực (sóng, dòng chảy và mực nước) đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm dựa trên số liệu quan trắc đo đạc thực tế tháng 5/2021 cho thấy độ chính xác tương đối tốt phổ biến trên 70% với sóng và trên 75% với mực nước. Từ đó, các kết quả mô phỏng chế độ thủy động lực từ mô hình MIKE 21/3 Couple Model FM cho thấy yếu tố sóng và dòng chảy thể hiện được tính chất gió mùa Đông Bắc và Tây Nam theo sự biến động thay đổi của thủy triều khá rõ. Bên cạnh đó, hiệu ứng tác động của địa hình và đường bờ lên chế độ thủy động lực cũng được thể hiện phần nào trong khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, sự giao thoa giữa sóng và dòng chảy tạo nên những dòng chảy hoàn lưu theo các quy mô lớn nhỏ khác nhau tùy vào thời kỳ con nước ở khu vực cửa sông và bán đảo Sơn Trà.

Do vậy, đây chỉ là kết quả sơ bộ do lưới tính vẫn chưa thể hiện được các đặc trưng ven bờ và đặc biệt là sự tham gia của các cửa sông; thời gian hiệu chỉnh và kiểm nghiệm vẫn còn hạn chế chưa dài. Nên khu vực này vẫn cần có những nghiên cứu cụ thể và sâu hơn để thể hiện lột tả được bức tranh tổng thể hơn và ứng dụng cho các vấn đề liên quan khác. Nhìn chung, kết quả này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về thủy động lực ba triều, hệ thống hoàn lưu ven bờ (dòng RIP), vận chuyển bùn cát và biến đổi địa hình, bài toán ô nhiễm môi trường, sinh thái,.....

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.T.B., Đ.Đ.C., N.M.H., N.Q.T.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: Đ.Đ.C., N.M.H., N.Q.T.; Xử lý số liệu: L.Đ.H., N.T.S., Đ.T.T., N.Q.T.; Viết bản thảo bài báo: H.T.B., Đ.Đ.C., N.Q.T.; Chỉnh sửa bài báo: Đ.Đ.C., N.Q.T.

Lời cảm ơn: Tác giả xin chân thành cảm ơn đề tài cơ sở cấp Viện địa lý “nghiên cứu ứng dụng mô hình số trị phục vụ đánh giá chế độ thủy động lực (sóng, dòng chảy, thủy triều) khu vực ven biển tp. Đà Nẵng trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng” do ThS. Hoàng Thái Bình làm chủ nhiệm, Viện Địa lý – Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam là cơ quan chủ trì đã hỗ trợ, cung cấp cơ sở dữ liệu để thực hiện bài báo này.

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 sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Đăng, V.H. và cs. Nghiên cứu đặc trưng thủy thạc động lực trong mùa gió đông bắc tại vùng biển Cô Tô bằng mô hình MIKE 21/3 FM Couple. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2013**, 634, 28–33.
2. Tiến, N.N. Ứng dụng mô hình MIKE 21/3 FM Couple nghiên cứu quá trình vận chuyển trầm tích tại vịnh Cam Ranh. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển* **2014**, 14 3, 129–137.
3. Chính P. Đ và cs Ứng dụng mô hình MIK 21/3 Couple mô phỏng chế độ thủy động lực vùng cửa sông Đà Nẵng. *Tạp chí khoa học Biến đổi khí hậu* **2020**, 13, 20–30.
4. Hồng, N.V.; Hoàng, T.T.; Vi, V.T.T.; Linh, H.T.M. Nghiên cứu tính toán dòng chảy khu vực cửa sông Cổ Chiên bằng mô hình MIK 21 FM. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2016**, 666, 21–35.
5. Thái, T.H. Ứng dụng mô hình MIKE 21 FM mô phỏng chất lượng nước khu vực ven biển Đình Vũ. *Tạp chí Phát triển KH&CN* **2017**, 20, 282–292.

6. Toàn, H.C.; Linh, H.T.M.; Hoàng, T.T.; Hải, C.T.; Đông, N.P.; Quý, P.T.D.; Anh, N.T.; Long, P.T. Nghiên cứu đánh giá khả năng dự báo sóng bằng mô hình 2D. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2019**, 708, 75–82.
7. Châm, Đ.Đ. và cs. Nghiên cứu diễn biến vùng ven biển cửa sông Nhật Lệ, tỉnh Quảng Bình phục vụ thoát lũ và giao thông thủy trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, 2017.
8. Châm, Đ.Đ. và cs. Nghiên cứu đánh giá các yếu tố thủy thạch động lực ảnh hưởng đến các quá trình bồi, xói vùng cửa sông, ven bờ từ Quảng Nam đến Phú Yên trong điều kiện biến đổi khí hậu, nước biển dâng. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước KC.09.03/16–20, Hà Nội, 2020.
9. Giang, N.T. và cs. Nghiên cứu cơ sở khoa học để xác định cơ chế bồi lấp, sạt lở và đề xuất các giải pháp ổn định các cửa sông Đà Diễn và Đà Nông tỉnh Phú Yên phục vụ phát triển bền vững cơ sở hạ tầng và kinh tế xã hội. Báo cáo TKĐT cấp Nhà nước, Trường ĐHKHTN, ĐHQGHN, Hà Nội, 2019.
10. Hùng, N. T. và cs. Nghiên cứu quá trình xói lở, bồi tụ dải bờ biển, cửa sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên–Huế, có xét tới ảnh hưởng của các tác động từ thượng nguồn và đề xuất giải pháp ổn định. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước, Phòng TNTĐQG về Động lực học sông – biển, Hà Nội, 2020.
11. Hùng N. T. và cs. Quan trắc, khảo sát, đánh giá, xác định nguyên nhân gây ra sự cô đọng bờ biển của tỉnh (khu vực kè bãi tắm Quất Lâm huyện Giao Thủy, khu vực kè Cồn Tròn – Hải Thịnh huyện Hải Hậu, kè khu vực sinh thái Rạng Đông, huyện Nghĩa Hưng), Báo cáo đề tài nhánh, Phòng TNTĐQG về Động lực học sông – biển, Hà Nội, 2020.
12. Bình, H.T. Xác định hành lang thoát lũ trên sông vùng hạ du Vu Gia–Thu Bồn khi hệ thống công trình thủy điện ở thượng du đi vào vận hành trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Hàn lâm và Khoa học Việt Nam, Hà Nội, 2017.
13. Bình, B.Q.; Đức, Đ.Đ. Phát triển kinh tế thành phố Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Kinh tế và Phát triển* **2018**, 127(5A), 105–117.
14. Nga, T.T.; Phát, N.T. Đánh giá ảnh hưởng của đô thị hóa đến tình hình ngập lụt lưu vực sông Cu Đê–Thành phố Đà Nẵng. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2020**, 71, 101–108.
15. https://danang.gov.vn/web/guest/gop-y-do-an/chi-tiet?id=3009&_c=94677463
16. DHI–MIKE 21/3 Couple Model FM, User Guide. DHI, 2014.
17. Huân N. M.; Trinh N. Q. Quy chuẩn hệ cao độ phục vụ lồng ghép bản đồ lục địa và bản đồ biển. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2009**, 582, 19–26.
18. <https://dhi.com> (2014). MIKE 21 TOOLBOX, User Guide.
19. https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/NWW3_Global_Best.html
20. Trung Tâm Động Lực Học Thủy Khí Môi Trường. Số liệu khảo sát thực địa tháng 05/2021. 2021.
21. Trinh, N.Q. Dự tính thủy triều trạm Sơn Trà năm 2021.

Research on integrated hydrodynamic processes (waves, currents and water levels) by MIKE 21/3 coupled with FM model in the Da Nang coastal zone

Hoang Thai Binh¹, Dao Dinh Cham^{1,2}, Dao Thi Thao¹, Le Duc Hanh¹, Nguyen Thai Son¹, Nguyen Minh Huan³, Nguyen Quoc Trinh^{1,2*}

¹ Institute of Geography, Viet nam Academy of Science and Technology (VAST), Viet Nam; hoangthaibinh@yahoo.com; chamvdl@gmail.com; thaodt010@wru.vn; hanhvd@gmail.com; nguyenthaison99@gmail.com; maitrinhvinh@gmail.com

² Graduate University of Science and Technology, Viet nam Academy of Science and Technology (VAST), Viet Nam; chamvdl@gmail.com; maitrinhvinh@gmail.com

³ University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam; nmhuan61@gmail.com

Abstract: This paper solves the two-dimensional problem of integrated hydrodynamic regimes (waves, currents and water levels) in the Da Nang coastal zone using MIKE 21/3 Couple Model FM of the DHI. This is a modern model that has been strongly applied in research in Vietnam and many countries others. The model has been calibrated and verified with field survey data and Son Tra station (May 2021) to find a suitable set of parameters for the Nash index and the corresponding index which results in over 70% of the correction and 75% of the test. This study uses it to simulate the hydrodynamic regime in the Da Nang coastal zone, which fluctuates with the southwest and the northeast monsoon. The hydrodynamic regime features also show clear seasonality and the formation of coastal circulations with different large and small scales depending on the time. In general, this result can serve as a basis for further studies on three dimensional hydrodynamics, coastal circulation system (RIP current), sediment transport and topographic change, environmental pollution, ecology.

Keywords: MIKE 21/3 Couple Model FM; Simulation; Hydrodynamics, Da Nang.