

MÔ HÌNH THỦY ĐỘNG LỰC HỌC CHO KHU VỰC BỜ BIỂN QUẢNG NAM - ĐÀ NẴNG

HYDRODYNAMIC MODELLING FOR THE COASTAL AREA OF QUANG NAM – DA NANG

Nguyễn Quang Bình¹, Nguyễn Công Phong², Vũ Huy Công¹, Võ Ngọc Dương¹

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; nqbinh@dut.udn.vn; vhhong@dut.udn.vn; vnduong@dut.udn.vn

²Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam; nguyencongphongg7@gmail.com

(Nhận bài: 16/7/2020; Chấp nhận đăng: 18/12/2020)

Tóm tắt - Nghiên cứu này nhằm mục đích thiết lập một mô hình thủy động lực học hoàn chỉnh và đảm bảo độ chính xác cho khu vực dọc theo bờ biển Quảng Nam và Đà Nẵng. Mô hình đã phản ánh được các khía cạnh thủy động lực học của khu vực nghiên cứu so với thực tế dựa trên việc sử dụng mô hình MIKE 21/3 của viện thủy lực Đan Mạch. Mô hình được xây dựng dựa trên phương pháp đa tỷ lệ, bắt đầu bằng mô hình Biển Đông đến khu vực nghiên cứu cụ thể cho bờ biển khu vực Quảng Nam - Đà Nẵng. Cả hai mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với các thông số mực nước, sóng, vận tốc dòng chảy và cho kết quả tốt. Nghiên cứu này sẽ cung cấp cơ sở dữ liệu để thực hiện các nghiên cứu chi tiết hơn như diễn biến đường bờ, nghiên cứu về bão và sự cố tràn dầu.

Từ khóa - E 21/3; mô hình thủy động lực; phương pháp đa tỷ lệ; mô hình biển Đông; Quảng Nam - Đà Nẵng.

1. Giới thiệu

Với lợi thế bãi biển kéo dài, với nhiều công trình quan trọng và nằm ngay trên tuyến hàng hải chính của quốc tế qua Biển Đông, Quảng Nam - Đà Nẵng được xem trung tâm kinh tế của khu vực Miền Trung – Tây Nguyên và là một trong những động lực tăng trưởng kinh tế cho Việt Nam. Tuy nhiên, vùng biển của 2 tỉnh nằm trong vùng tác động mạnh của nhiều yếu tố như thủy triều biển Đông, dòng chảy và bùn cát đổ ra từ hệ thống sông Vu Gia – Thu Bồn, sông Cu Đê nên có chế độ thủy lực động lực khá phức tạp. Ngoài ra, hàng năm Quảng Nam - Đà Nẵng thường xuyên phải gánh chịu các hậu quả do thiên tai, đặc biệt là lũ lụt và mưa bão. Hậu quả này dự kiến sẽ trở nên nghiêm trọng hơn trong tương lai dưới tác động của biến đổi khí hậu. Để đánh giá và giảm thiểu những tác động này, cần phải có những nghiên cứu cụ thể để hiểu được chế độ thủy động lực cho khu vực này.

Ngày nay, việc ứng dụng mô hình số trong nghiên cứu chế độ thủy động lực học vùng biển và cửa sông rất phổ biến. Hiệu quả của phương pháp này đã được chứng minh trong nhiều công trình nghiên cứu khác nhau [1]. Đối với tất cả các mô hình số, điều kiện biên là một yêu cầu quan trọng. Do việc quan trắc, đo đạc các dữ liệu về biển thường rất khó khăn và tốn kém, nên dữ liệu sóng, gió và dòng chảy thường rất hạn chế để mô phỏng trong các mô hình. Để khắc phục khó khăn này, dữ liệu cho các mô hình số thường được trích xuất từ các mô hình lớn hơn hoặc được lấy từ dữ liệu toàn cầu [2].

Tại khu vực bờ biển Quảng Nam và Đà Nẵng có nhiều nghiên cứu để đánh giá chế độ thủy động lực học bằng cách áp dụng mô hình số khác nhau. Điển hình như Đình Văn

Abstract - This study aims to establish a complete hydrodynamic model and ensure the accuracy for the area along the coasts of Quang Nam and Da Nang. The model has reflected the actual hydrodynamic aspects of the study area based on the use of the MIKE 21/3 model of the Danish hydraulic institute. The model is built on a multi-scale method, starting with the East Sea model to a specific study area for the coast of Quang Nam - Da Nang. Both models are calibrated and validated with water level, wave, flow velocity parameters and give very good results. This study will provide a database for conducting more detailed and deeper studies in the coastal area of Quang Nam - Da Nang such as shoreline changes, studies of storms and oil spills.

Key words - MIKE 21/3; Hydrodynamic modeling; Multi-ratio method; East Sea model; Quang Nam – Da Nang.

Manh, “Nghiên cứu đề cập nhật, chi tiết hóa bộ số liệu cơ bản về triều, nước dâng dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam phục vụ tính toán thiết kế, củng cố nâng cấp đê biển” [3]; Lê Văn Khoa, “Nghiên cứu lập bản đồ khoanh vùng dòng Rip, phục vụ quy hoạch và phát triển du lịch biển thành phố Đà Nẵng” [4]; Báo cáo tính toán chế độ sóng thuộc dự án khu đô thị mới quốc tế Đa Phước năm 2017 [5]. Trong các nghiên cứu này, điều kiện biên đa số đều được trích xuất từ mô hình lớn hơn, tuy nhiên có 1 số nghiên cứu sử dụng hai mô hình số với lời giải số và sai số khác nhau để thiết lập cho hai khu vực nghiên cứu, làm ảnh hưởng đến độ chính xác của kết quả tính toán cũng như quá trình lan truyền sóng, gió và mực nước triều.

Qua phân tích ưu nhược điểm kết quả của các nghiên cứu trước đây, trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã cập nhật thêm dữ liệu địa hình của một số công trình mới được xây dựng dọc theo bờ biển, phạm vi đường bờ được xử lý và trích xuất từ ảnh viễn thám để phản ánh đúng hình thái hiện trạng của khu vực nghiên cứu. Dòng chảy từ lưu vực sông Cu Đê, sông Vu Gia – Thu Bồn được cập nhật và tính toán. Mô hình tổng thể và chi tiết được thiết lập trên cùng 1 phần mềm MIKE 21/3 của viện thủy lực Đan Mạch theo phương pháp đa tỷ lệ. Trong đó, lưới của mô hình chi tiết được cập nhật và chạy mô phỏng đồng thời với mô hình tổng thể. Đảm bảo kết quả cũng như quá trình lan truyền sóng, gió, mực nước triều được liên tục. Việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được thực hiện ngoài các trạm hải văn thực đo (Sơn Trà, Lý Sơn), còn sử dụng thêm các dữ liệu vệ tinh, kết quả mới được cập nhật của các mô hình toàn cầu mới để đảm bảo tính đại

¹ The University of Danang - University of Science and Technology (Quang Binh Nguyen, Huy Cong Vu, Ngoc Duong Vo)

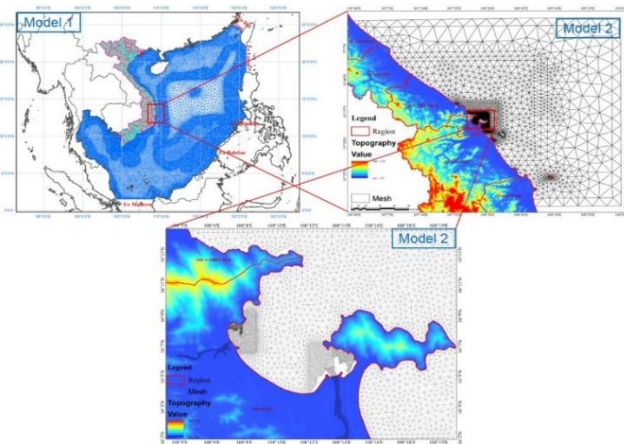
² Southern Institute of water resources research (Nguyen Cong Phong)

diện và phân bố đều trên không gian toàn bộ khu vực cũng như đa dạng hóa nguồn dữ liệu nghiên cứu. Nghiên cứu này hi vọng sẽ cung cấp cơ sở dữ liệu để thực hiện nghiên cứu ảnh hưởng của bão, thay đổi địa hình đáy biển, lan truyền chất và đánh giá hiệu quả của các biện pháp nhằm giảm thiểu tác động của sóng và dòng chảy ven bờ.

2. Phương pháp và dữ liệu nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu, mô hình MIKE 21/3 được sử dụng để mô phỏng chế độ thủy động lực học cho khu vực nghiên cứu. Mô hình được xây dựng dựa trên phương pháp đa tỷ lệ, bắt đầu bằng nghiên cứu từ mô hình Biển Đông đến khu vực nghiên cứu cụ thể, chi tiết tại Hình 1. Mô hình Biển Đông (mô hình 1) được sử dụng để mô phỏng quá trình thủy triều cũng như sự lan truyền sóng từ ngoài khơi vào khu vực ven biển. Biên mở của mô hình là eo biển Đài Loan, Luzon, Mindoro, Babalac và Malacca. Kết quả của mô hình sẽ được sử dụng để trích xuất biên cho mô hình 2D chi tiết cho khu vực bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng (mô hình 2).



Hình 1. Khu vực nghiên cứu

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

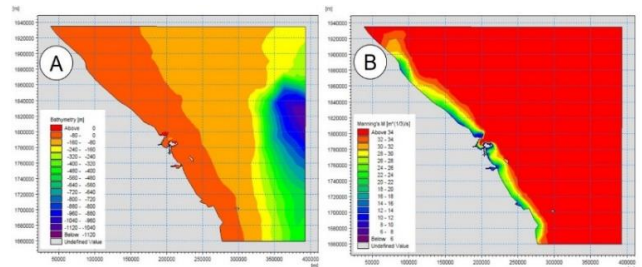
Dữ liệu địa hình của khu vực nghiên cứu trong mô hình MIKE 21/3 được lấy từ dữ liệu SRTM15_PLUS v1.0 của Viện Hải dương học tại Đại học California, Hoa Kỳ. Đây là bộ dữ liệu có độ phân giải $15'' \times 15''$ (khoảng 450m) [6]. Ngoài ra, tại khu vực nghiên cứu chi tiết được cập nhật thêm dữ liệu địa hình của các công trình mới được xây dựng (Hình 2a) [5].

Số liệu trường gió và áp suất khí quyển nên được trích từ kết quả mô hình khí hậu toàn cầu CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) của Trung tâm Dự báo Môi trường thuộc Cơ quan quản lý đại dương và khí quyển Mỹ (NCEP/NOAA). Đây là kết quả trường gió, áp suất thu được từ việc mô phỏng lại và được hiệu chỉnh thông qua số liệu thực đo từ hệ thống các trạm quan trắc hải văn toàn cầu. Số liệu trường gió có từ năm 1979 đến nay, bước thời gian là 1 giờ, kích thước ô lưới $0,2^0 \times 0,2^0$ [7].

Số liệu sóng (chiều cao, hướng sóng) quan trắc tại giàn khoan Bạch Hổ năm 1996 được thu thập phục vụ mục đích hiệu chỉnh mô hình. Kiểm định mô hình được thực hiện thông qua số liệu sóng quan trắc từ vệ tinh được cung cấp bởi tổ chức AVISO của Pháp. Số liệu được sử dụng là bộ

sản phẩm trường sóng Ssalto/Duacs được tổng hợp từ số liệu quan trắc của rất nhiều vệ tinh như Jason-1 và -2, Topex/Poseidon, Envisat, GFO, ERS-1 và -2, và Geosat. Số liệu bao gồm chiều cao sóng có nghĩa, có bước thời gian là 1 ngày, kích thước ô lưới $1^0 \times 1^0$, và sẵn có từ 14/9/2009 đến nay. Kết quả mô phỏng sóng của mô hình WAVEWATCH-III cũng được sử dụng để so sánh với kết quả mô hình MIKE 21/3 được cung cấp bởi NCEP/NOAA. Số liệu này bao gồm các yếu tố như chiều cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng cực đại, và hướng sóng chính trung bình. Số liệu có bước thời gian là 3 giờ, bước lưới $0,5^0 \times 0,5^0$, hiện sẵn có từ 1990 đến nay [8], [9].

Dữ liệu dòng chảy ở sông Cu Đê, sông Vu Gia – Thu Bồn được kế thừa từ kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả [10]. Dữ liệu thủy triều của các trạm hải văn Sơn Trà và Lý Sơn, Phú Quý, Côn Đảo được thu thập và chỉnh lý theo hệ thống cao độ quốc gia [11].



Hình 2. (a) Bản đồ địa hình, (b) Bản đồ hệ số nhám

3. Thiết lập mô hình

Mô hình 1 - được xây dựng trên toàn bộ Biển Đông với diện tích $3,45 \times 10^6 \text{ km}^2$. Lưới phi cấu trúc được sử dụng bao gồm 64680 phần tử, 33337 nút với nguyên tắc chia lưới mịn khu vực gần bờ, nơi có địa hình biển đổi phức tạp (Hình 1). Điều kiện biên được thiết lập tại 5 vị trí (Đài Loan, Luzon, Mindoro, Babalac và Malacca), với module thủy động lực HD là mực nước triều được xây dựng từ các hằng số điều hòa. Với module phổ sóng SW các biên này được giả thiết là biên bên “lateral boundary”.

Mô hình 2 - mô hình chi tiết được xây dựng với diện tích $60,3 \times 10^3 \text{ km}^2$. Lưới cho mô hình 2 được thiết lập với 13065 phần tử, 7178 nút với kích thước mắt lưới trung bình là $4,62 \text{ km}^2$. Bốn biên của mô hình này được trích từ mô hình 1. Hệ số nhám ban đầu được thiết lập dựa trên kết quả nghiên cứu của tác giả Đinh Văn Mạnh và số liệu đo đạc [3].

4. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hiệu chỉnh mô hình được thực hiện chính thông qua hệ số nhám Manning M, kết quả hiệu chỉnh cho thấy hệ số nhám thay đổi theo cao trình đáy biển. Đối với vùng biển sâu ở khu vực biển Đông, hệ số nhám Manning M nằm trong khoảng 35-40, đối với vùng biển nông ven bờ thì hệ số nhám M khoảng 20-30 (Hình 2b). Kết quả hiệu chỉnh cụ thể cho mô hình Biển Đông và mô hình chi tiết được trình bày từ Hình 3 đến Hình 19.

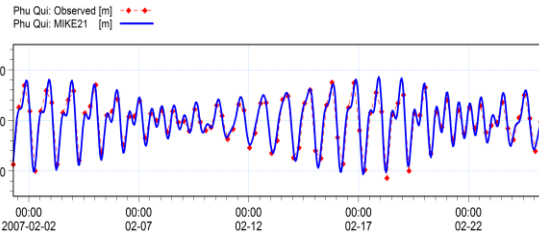
Đối với mô hình sóng nước sâu ở biển Đông tuân theo các quá trình vật lý đã được tổng kết bởi Battjes bao gồm: (i) Quá trình hình thành sóng từ gió (wind generation); (ii) Tương tác sóng phi tuyến theo lý thuyết “bồn-sóng”

(quadruplet wave-wave interactions); và (iii) Hiệu ứng sóng bạc đầu (white-capping) [12]. Việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình do vậy được thực hiện thông qua các tham số liên quan các quá trình kể trên.

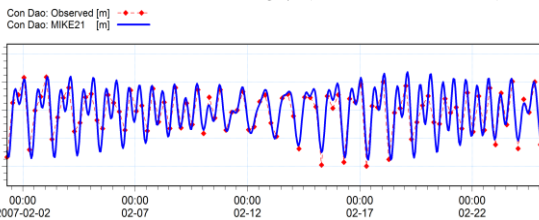
4.1. Mô hình biển Đông

4.1.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mực nước tổng hợp

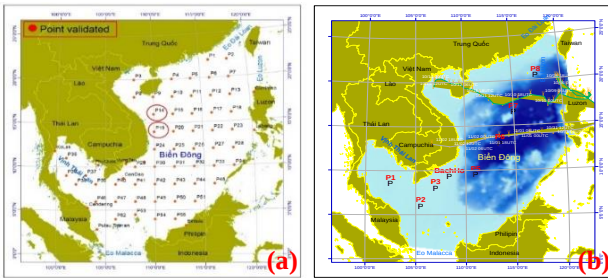
Tiến hành hiệu chỉnh kết quả mực nước tổng hợp mô phỏng và thực đo tại hai trạm Phú Quý và Côn Đảo trong thời gian từ ngày 02/02 đến ngày 25/02/2007 được thể hiện trong Hình 3, Hình 4.



Hình 3. Mực nước tổng hợp mô phỏng theo mô hình MIKE 21/3 và thực đo tại trạm Phú Quý (02/02 - 25/02/2007)

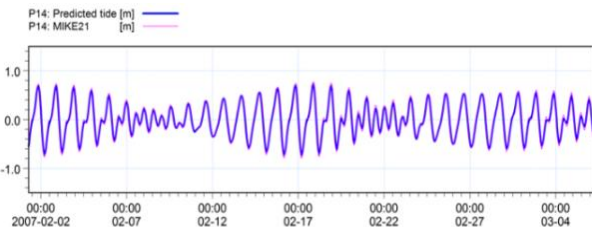


Hình 4. Mực nước tổng hợp mô phỏng theo mô hình MIKE 21/3 và thực đo tại trạm Côn Đảo (02/02 - 25/02/2007)



Hình 5. Vị trí sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định:
(a) mực nước, (b) sóng

Kết quả mô phỏng từ mô hình MIKE 21/3 cũng được kiểm định với mực nước triều dự đoán từ mô hình thủy triều toàn cầu FES2014 trong thời gian 02/02 – 10/04/2007. Tổng cộng có 55 điểm kiểm tra (P1 ÷ P55) (Hình 5a), kết quả tại vị trí P14 được thể hiện tại Hình 6.

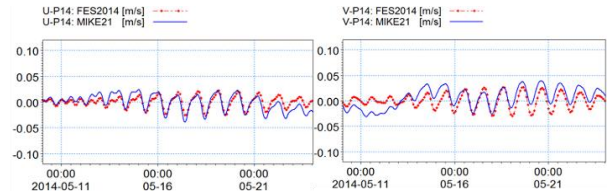


Hình 6. Mực nước mô phỏng theo mô hình MIKE 21/3 và mô hình thủy triều toàn cầu FES2014 tại vị trí P14 (02/02 – 10/04/2007)

4.1.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định vận tốc dòng chảy

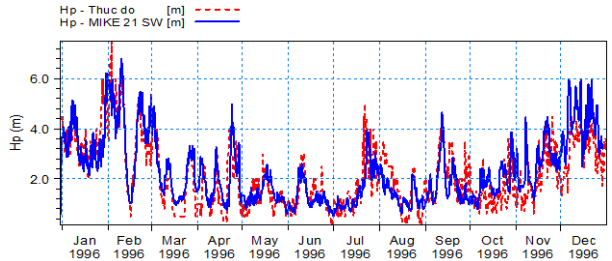
Kết quả thành phần vận tốc dòng chảy theo 2 phương u và v từ mô hình MIKE 21/3 cũng đạt tương quan tốt với

kết quả dự báo từ mô hình triều toàn cầu FES2014 tại điểm P14 (Hình 7).

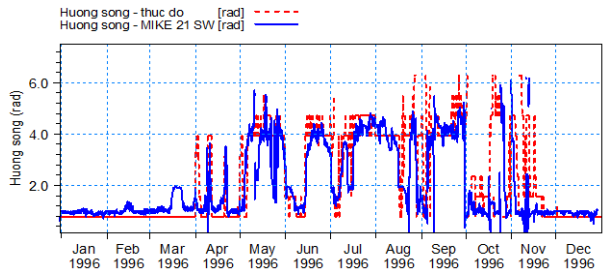


Hình 7. So sánh thành phần vận tốc (u, v) tính toán bằng mô hình MIKE21 và dự báo bằng mô hình triều toàn cầu FES2014 tại vị trí P14 (10/05 – 25/05/2014)

4.1.3. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định sóng



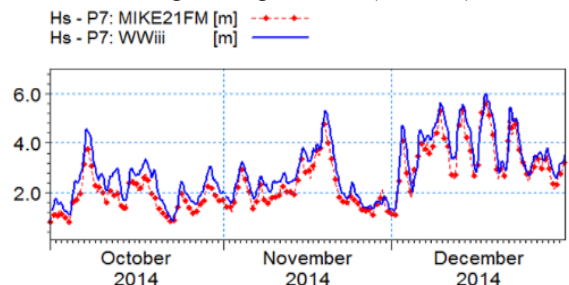
Hình 8. Chiều cao sóng được mô phỏng theo mô hình MIKE 21/3 và thực đo tại trạm Bạch Hồ năm 1996



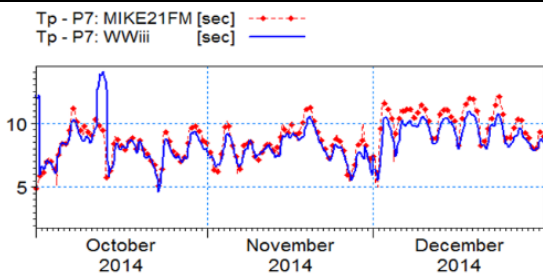
Hình 9. Hướng sóng được mô phỏng theo mô hình MIKE 21/3 và thực đo tại trạm Bạch Hồ năm 1996

Để đánh giá kết quả mô phỏng sóng từ mô hình MIKE 21/3 cho khu vực Biển Đông, kết quả mô phỏng sóng được so sánh với các nguồn dữ liệu sau: (1) Dữ liệu thực đo tại trạm Bạch Hồ (chiều cao sóng và hướng sóng); (2) Kết quả mô phỏng sóng từ mô hình WAVEWATCH-III của tổ chức NCEP/NOAA, Hoa Kỳ (Hình 8, Hình 9).

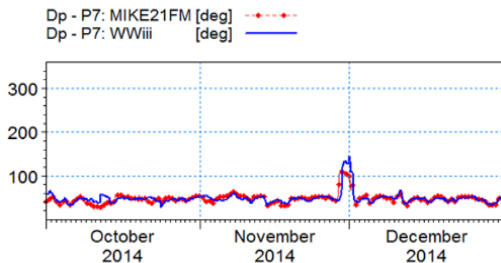
Kiểm định sóng được thực hiện bằng cách so sánh các yếu tố sóng (chiều cao, chu kỳ, hướng sóng và trường sóng) được tính toán theo mô hình MIKE 21/3 với kết quả của mô hình WAVEWATCH-III (Hình 13) cũng như dữ liệu từ các vệ tinh AVISO tại điểm kiểm tra (P7) từ tháng 10-12/2014 (Hình 10, Hình 11, Hình 12). Vị trí các điểm kiểm định được lựa chọn nhằm đảm bảo tính đại diện về không gian trên toàn vùng biển nghiên cứu (Hình 5b).



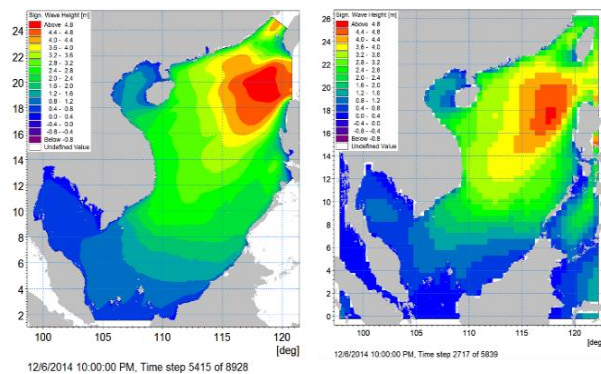
Hình 10. Chiều cao sóng mô phỏng với kết quả mô hình WAVEWATCH-III tại các điểm P7 (10/2014 ÷ 12/2014)



Hình 11. Chu kỳ đỉnh sóng mô phỏng và kết quả mô hình WAVEWATCH-III tại các điểm P7 (10/2014 ÷ 12/2014)



Hình 12. Hướng sóng mô phỏng và kết quả mô hình WAVEWATCH-III tại các điểm P7 (10/2014 ÷ 12/2014)



Hình 13. So sánh trường sóng tính toán bằng mô hình MIKE21 SW với kết quả mô hình WAVEWATCH-III tại thời điểm 22h ngày 6/12/2014

4.2. Mô hình khu vực bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng

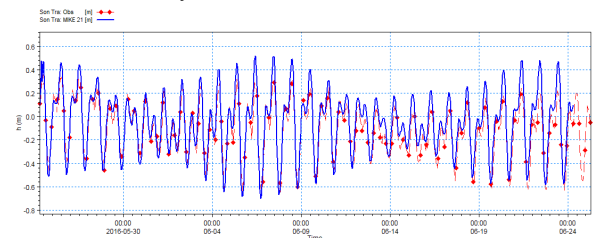
4.2.1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mực nước tổng hợp



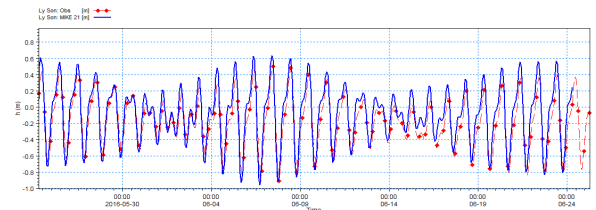
Hình 14. Vị trí sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định với mực nước tổng hợp thực đo tại các trạm hải văn Sơn Trà và Lý Sơn (Hình 14) từ ngày 25/05/2016 đến ngày 25/06/2016 được thể hiện trong Hình 15, Hình 16. Kết quả cho thấy tương quan tốt giữa kết

quả đo và mô phỏng. Hệ số tương quan R^2 và hệ số NASH tại trạm Sơn Trà và Lý Sơn lần lượt là 0,95; 0,78 và 0,94; 0,78.



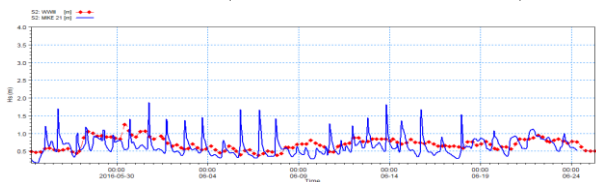
Hình 15. Mực nước tổng hợp mô phỏng và dữ liệu thực đo tại trạm hải văn Sơn Trà (25/05 - 25/06/2016)



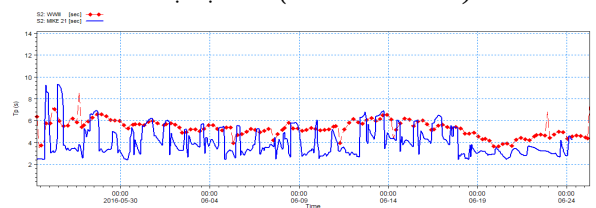
Hình 16. Mực nước tổng hợp mô phỏng và dữ liệu thực đo tại trạm hải văn Lý Sơn (25/05 - 25/06/2016)

4.2.2. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định sóng

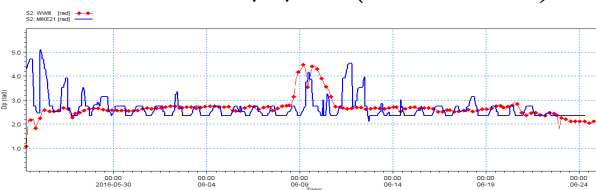
Hiệu chỉnh và kiểm định được so sánh với kết quả của mô hình WAVEWATCHIII tại 03 vị trí (S1, S2, S3) dọc theo bờ biển khu vực Quảng Nam - Đà Nẵng từ ngày 25/05-25/06/2016 (Hình 14). Kết quả cho thấy tương quan tốt về xu hướng và biên độ của dữ liệu mô phỏng và thực đo tại tất cả các vị trí (Hình 17, Hình 18, Hình 19).



Hình 17. Chiều cao sóng mô phỏng và mô hình WAVEWATCH-III tại vị trí S2 (25/05-25/06/2016)



Hình 18. Chu kỳ đỉnh sóng mô phỏng và mô hình WAVEWATCH-III tại vị trí S2 (25/05-25/06/2016)

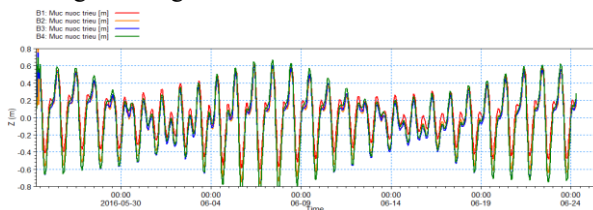


Hình 19. Hướng sóng mô phỏng và mô hình WAVEWATCH-III tại vị trí S2 (25/05-25/06/2016)

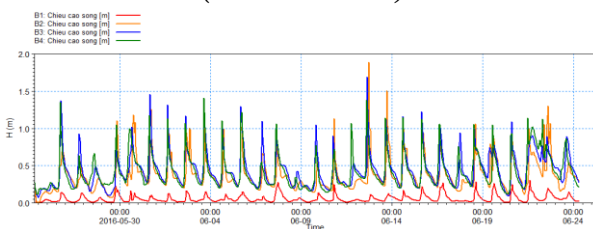
5. Kết quả thủy động lực học dọc theo bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng

Kết quả mô phỏng mực nước tổng hợp, chiều cao sóng và vận tốc dòng chảy tại bốn vị trí (B1, B2, B3, B4) dọc theo bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng được trích xuất tại

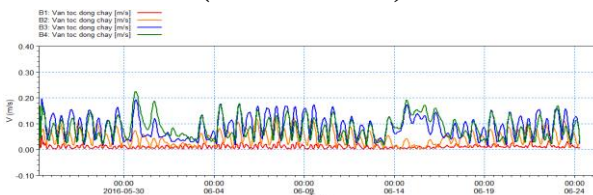
Hình 20, Hình 21 và Hình 22. Mức nước tổng hợp tại bốn vị trí khác nhau không đáng kể, tuy nhiên chiều cao sóng và vận tốc dòng chảy tại vị trí B1 do nằm trong vùng vịnh Đà Nẵng nên có giá trị nhỏ hơn so với 3 vị trí còn lại.



Hình 20. Mức nước tổng hợp tại 4 điểm B1, B2, B3, B4 (25/05 - 25/06/2016)



Hình 21. Chiều cao sóng tại 4 điểm B1, B2, B3, B4 (25/05 - 25/06/2016)



Hình 22. Vận tốc dòng chảy tại 4 điểm B1, B2, B3, B4 (25/05 - 25/06/2016)

6. Kết luận

Nghiên cứu đã thiết lập mô hình Biển Đông và mô hình chi tiết cho khu vực bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng thông qua mô hình MIKE 21/3 của viện Thủy lực Đan Mạch. Các kết quả đã được hiệu chỉnh và kiểm định tốt với các dữ liệu thực đo, dữ liệu từ vệ tinh, kết quả dự đoán từ mô hình thủy triều FES2014 và WAVEWATCH III tại các vị trí. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định với mức nước tổng hợp thực đo tại trạm hải văn Sơn Trà và Lý Sơn có hệ số tương quan R^2 và hệ số NASH lần lượt là 0,95; 0,78 và 0,94; 0,78.

Kết quả mô phỏng mức nước dọc theo bờ biển Quảng Nam - Đà Nẵng khác nhau không đáng kể, chỉ riêng chiều cao sóng và vận tốc dòng chảy trong khu vực vịnh Đà Nẵng

có xu hướng khác và nhỏ hơn so với những khu vực còn lại.

Kết quả nghiên cứu này sẽ đặt nền tảng ban đầu để phát triển các bài toán tiếp theo trong việc nghiên cứu ảnh hưởng của bão, thay đổi địa hình đáy biển đến chế độ thủy động lực học, lan truyền chất và đánh giá hiệu quả của các biện pháp nhằm giảm thiểu tác động của sóng và dòng chảy ven bờ.

Lời cảm ơn: Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2020-02-20.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Dastgheib, J. Reynolds, S. Thammasittirong, S. Weesakul, M. Thatcher, and R. Ranasinghe, "Variations in the wave climate and sediment transport due to climate change along the coast of Vietnam", *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 4, no. 4, 2016, p. 86.
- [2] N. T. Sáo, N. T. Thành, and N. Q. Thành, "Mô phỏng quá trình lan truyền và biến đổi vệt dầu trên Biển Đông bằng mô hình toán", *Vietnam J. Earth Sci.*, vol. 33, no. 3, 2011, pp. 360–368.
- [3] Đ. V. Mạnh, "Nghiên cứu để cập nhật, chi tiết hóa bộ số liệu cơ bản về triều, nước dâng dọc bờ biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam phục vụ tính toán thiết kế, củng cố nâng cấp đê biển", đề tài thuộc Chương trình Khoa học Công nghệ phục vụ xây dựng Đê biển và Công trình Thủy lợi Vùng Cửa sông Ven biển, Bộ NN&PTNT, 2008.
- [4] L. V. Khoa, "Nghiên cứu lập bản đồ khoanh vùng dòng Ríp, phục vụ quy hoạch và phát triển du lịch biển thành phố Đà Nẵng", đề tài cấp thành phố Đà Nẵng, http://csdlqg.vista.gov.vn/kq_chitiet_du.asp?id=KQT0110/1/2018%2013:39:47, 2017.
- [5] Công ty cổ phần tư vấn xây dựng Vi Na Mê Kông, "Báo cáo tính toán chế độ sóng thuộc dự án khu đô thị mới quốc tế Đa Phước", dự án khu đô thị mới quốc tế Đa Phước, 2017.
- [6] C. J. Olson, J. J. Becker, and D. T. Sandwell, "A new global bathymetry map at 15 arcsecond resolution for resolving seafloor fabric: SRTM15_PLUS", 2014.
- [7] S. Saha *et al.*, "The NCEP climate forecast system version 2", *J. Clim.*, vol. 27, no. 6, 2014, pp. 2185–2208.
- [8] H. L. Tolman, "User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14", *Tech. note, MMAB Contrib.*, vol. 276, 2009, p. 220.
- [9] AVISO, *AVISO handbook: Merged TOPEX/POSEIDON products (Toulouse: Cent. Natl. D'Etudes Spatiale)*, 1996.
- [10] Vo, Ngoc Duong, Quang Binh Nguyen, and Philippe Gourbesville, "Semi Distributed Model Application for Evaluating the Impact of Climate Change on Water Resource in Quang Nam-Da Nang Area", *EPiC Series in Engineering* 3, 2018, pp. 2216–2225.
- [11] Đài khí tượng Thủy văn Khu vực Trung Trung Bộ, "Đặc điểm khí tượng, thủy văn, hải văn Quảng Nam Đà Nẵng", <http://ktvtvb.vn/>, 2018.
- [12] J. A. Battjes, "Shallow water wave modelling", in *Proc. Int. Symp.: Wavesphysical and numerical modelling, Vancouver*, 1994, pp. 1–23.