



Original Article

Study Hydrodynamic Regime of the Coastal Area of Thuan An, Hue Using MIKE 21/3FM Model

Ninh Thu Trang¹, Le Thi Huong Giang¹, Nguyen Quang Minh^{2,*},
Tran Quang Hung², Dam Ba Giang³

¹*Vietnam Maritime University, 484 Lach Tray, Le Chan, Hai Phong, Vietnam*

²*Institute of Oceanography and Environment,*

132 Nguyen Khuyen, Van Mieu- Quoc Tu Giam, Hanoi, Vietnam

³*Consultant and Engineering of Transport Infrastructure JSC - CEOTIC,*

Floor 33, Block A, Osaka Complex, Hoang Liet, Hanoi, Vietnam

Received 25th August 2025

Revised 15th October 2025; Accepted 30th October 2025

Abstract: The dynamic regime of the coastal zone in Hue City is strongly influenced by the monsoon, typhoons (tropical storms), and a small tidal range. To investigate the interaction of these factors, this study applied the Mike 21/3FM model after calibrating and validating the wave, current, and water level simulations with observational data. Continuous simulation over a typical year, 2020, showed that meteorological and oceanographic factors caused a maximum sea level rise of up to 1.48 m (due to tides, seasonal variation, and storm surge) combined with large waves exceeding 3 m during the northeast monsoon period (from September to April of the following year). This resulted in a large longshore current, reaching 1.5 m/s, primarily directed from South to North. Conversely, the dynamic is weak during the southwest monsoon period (from May to August). During this time, the seasonal water level variation is lower than the mean sea level, while tidal levels are low, surface wave heights are also low (less than 1 m), and the longshore current velocity - now primarily driven by the tides, is less than 0.25 m/s. This leads to the conclusion that the hydro-oceanographic regime in this area is heavily dominated by atmospheric agents, underscoring the importance of meteorological-climatic conditions in the hydrodynamic of this coastal area.

Keywords: Water level, seasonal variation, waves, currents, MIKE21/3FM.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenquangminh2110@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5398>

Nghiên cứu chế độ thủy động lực dải ven biển khu vực bờ biển Thuận An bằng mô hình MIKE 21/3FM

Ninh Thu Trang¹, Lê Thị Hương Giang¹, Nguyễn Quang Minh^{2,*},
Trần Quang Hưng², Đàm Bá Giang³

¹Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 484 Lạch Tray, Lê Chân, Hải Phòng, Việt Nam

²Viện Hải văn và Môi trường Việt Nam, 132 Nguyễn Khuyến, Văn Miếu- Quốc Tử Giám, Hà Nội, Việt Nam

³Công ty Cổ phần Tư vấn và Kỹ thuật Hạ tầng Giao thông - CEOTIC,
Tầng 33, Tòa A, Osaka Complex, Hoàng Liệt, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 25 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 10 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2025

Tóm tắt: Chế độ động lực vùng bờ biển thành phố Huế chịu chi phối mạnh của gió mùa, bão và biên độ thủy triều nhỏ. Để nghiên cứu đầy đủ tương tác các yếu tố này, nghiên cứu đã ứng dụng mô hình Mike 21/3FM sau khi hiệu chỉnh và kiểm định đầy đủ các các yếu tố sóng, dòng chảy và mực nước với số liệu quan trắc. Tiến hành mô phỏng liên tục trong một năm điển hình 2020 cho thấy được sự ảnh hưởng của yếu tố khí tượng và hải dương gây mực nước biển dâng lên đến 1,48 m (thủy triều, dao động mùa, nước dâng do bão) kết hợp sóng lớn >3 m vào thời kỳ gió mùa đông bắc từ tháng IX đến tháng IV năm sau gây dòng chảy ven bờ lớn 1,5 m/s chủ yếu hướng từ nam lên bắc. Ngược lại, chế độ động lực biển yếu vào thời kỳ gió mùa tây nam từ tháng V đến tháng VIII, mực nước dao động mùa thấp hơn mực trung bình, mực thủy triều thấp, sóng nhỏ <1m và vận tốc dòng chảy ven bờ <0,25 m/s chủ yếu do thủy triều. Từ đó dẫn đến nhận định đặc trưng chế độ hải văn khu vực này chịu sự chi phối mạnh mẽ của các tác nhân khí quyển, nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xét đến điều kiện khí tượng – khí hậu khi nghiên cứu tính chất thủy động lực vùng biển này.

Từ khóa: Mực nước, dao động mùa, sóng, dòng chảy, MIKE21/3FM.

1. Giới thiệu chung

Thành phố Huế là một nằm ở trung tâm miền Trung của cả nước với diện tích nhỏ 5.033,2 km² với hơn 1,2 triệu dân nhưng lại có chiều dài tuyến bờ biển đến 128 km và hệ thống đầm phá Tam Giang - Cầu Hai rộng 22.000 ha nên cuộc sống người dân tại đây gắn liền với biển, đầm phá và sông nước. Biên độ thủy triều nhỏ góp phần khiến ảnh hưởng của điều kiện khí tượng tác động lên mặt biển trở nên khá rõ rệt. Bờ biển

có hướng Tây Bắc – Đông Nam cửa ngõ Vịnh Bắc Bộ do đó khu vực bờ biển xuyên bị bão và gió mùa tác động đến bờ biển gây xói lở bờ biển và bồi lấp cửa sông. Khu vực bãi biển đoạn từ kè chắn cát phía Nam cửa Thuận An đến điểm đầu của tuyến kè bờ An Dương, thành phố Huế với chiều dài khoảng 7,1 km là nơi chịu ảnh hưởng của thiên tai, gió bão nghiêm trọng nhất khi khu vực bờ biển bị xói lở, xâm thực sâu vào đất liền từ 10÷30 m, ảnh hưởng đến 500 hộ dân và các hoạt động kinh tế - xã hội ven biển.

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenquangminh2110@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5398>

Bờ biển khu vực này không có trạm hải văn quan trắc thường xuyên do đó dữ liệu khu vực này rất hạn chế. Số liệu về hải văn chủ yếu là từ các đề tài dự án với chuỗi quan trắc ngắn ngày. Có một số nghiên cứu trước đây ở khu vực này như: Tran Thanh Tung (2001) ứng mô hình biến đổi đường bờ 1 chiều khi nghiên cứu xói lở bờ biển ở Huế cũng chỉ xét đến thủy triều mà bỏ qua những biến động mực nước biển có nguồn gốc khác [1]. Trong các nghiên cứu về thủy thạch động lực vùng cửa biển Thuận An và Tư Hiền, Nghiêm Tiến Lam và cộng sự (cs) (2003, 2004, 2007, 2008), mực nước biển cũng chỉ xét đến thủy triều thuần túy mà bỏ qua các yếu tố khí tượng vốn cũng có ảnh hưởng không nhỏ đến chế độ thủy động lực biển [2-5]. Đặng Đình Đức và cs (2021) khi vận dụng bộ mô hình COAWST (gồm ROMS và SWAN) để mô phỏng thủy động lực theo tầng (3D) và sóng mặt ở Biển Đông đã thiết lập mô hình với điều kiện biên và các trường ngoại lực khá đầy đủ (dòng chảy, thủy triều, trường khí áp, nhiệt độ, độ muối,...) nhưng không tập trung chi tiết cho khu vực Huế cũng như chỉ hiệu chỉnh kiểm định mô hình sóng với độ cao sóng thiếu chu kỳ và hướng sóng. Ngoài ra số liệu hiệu chỉnh tại các trạm hải văn là số liệu quan trắc ước lượng bằng mắt nên kết quả sai số rất lớn. Mô hình thủy lực hoàn toàn không có so sánh với thực đo như mực nước, vận tốc dòng chảy, hướng dòng chảy [6]. Gần đây, nghiên cứu của Nguyen Thanh Hung và cs (2024) đã vận dụng bộ mô hình tổ hợp Delft3D để nghiên cứu chế độ thủy thạch động lực khu vực cửa Thuận An, Huế nhưng chủ yếu tập trung làm rõ chế độ vận chuyển bùn cát vùng cửa sông cũng như chưa đánh giá rõ về chế độ mực nước biển cho khu vực này [7]. Trong khi đó, yếu tố mực nước lại ảnh hưởng rất lớn đến độ cao sóng và dòng chảy khu vực ven bờ. Như vậy, các nghiên cứu chưa thể đánh giá hết được các yếu tố động lực biển cho khu vực này một cách đầy đủ.

Có thể thấy rằng cần thiết có một nghiên cứu tập trung mô tả và làm rõ chế độ thủy động lực biển với đầy đủ các yếu tố: mực nước, sóng, và dòng chảy dưới tác dụng của đầy đủ của các yếu tố tác động khí tượng và hải văn. Giải quyết vấn đề này, bài báo ứng dụng bộ mô hình MIKE

21/3FM cùng số liệu thực đo chi tiết và vận dụng các phương pháp phân tích số liệu nhằm có được những kết quả tường minh và đầy đủ về chế độ thủy động lực biển vùng biển thành phố Huế với trọng tâm là khu vực bãi biển Tân An.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu mô hình MIKE 21/3FM

Bộ mô hình MIKE được phát triển bởi Viện Thủy Lực Đan Mạch (DHI), cụ thể trong bài báo sẽ ứng dụng các mô hình sau: MIKE 21/3 HDFM, MIKE 21 SWFM.

2.1.1. Mô hình dòng chảy MIKE 21/3 HDFM [8]

Mô hình dòng chảy MIKE 21 HDFM là một hệ thống mô hình hóa cho dòng chảy mặt trung bình theo độ sâu được cung cấp, phát triển và hỗ trợ bởi Viện Thủy Lực Đan Mạch. Mô hình được dựa trên phương pháp giải số phương trình thủy lực 3 chiều Navier-Stokes. Mô đun này dựa trên nghiệm số của hệ các phương trình Navier-Stokes trung bình Reynolds cho chất lỏng không nén được 2 hoặc 3 chiều kết hợp với giả thiết Boussinesq và giả thiết áp suất thủy tĩnh. Mô hình được ứng dụng để mô phỏng quá trình thủy động lực và môi trường các khu vực như: hồ, cửa sông, vịnh, khu vực ven bờ và biển (bỏ qua trường hợp phân tầng). Mô hình có thể được sử dụng để mô phỏng các hiện tượng thủy lực và các vấn đề liên quan bao gồm: thủy triều, dòng chảy và nước dâng do bão.

Module thủy động lực (HD) là một module cơ bản trong mô hình dòng chảy MIKE 21. Module mô phỏng sự biến động của mực nước và dòng chảy ứng với nhiều lực tác động khác nhau trong hồ, cửa sông và khu vực ven bờ. Những ứng dụng của mô hình dòng chảy MIKE 21 HDFM có thể kể đến bao gồm: các nghiên cứu về hoàn lưu đại dương và dòng chảy ven bờ; nghiên cứu điều kiện thủy động lực cơ sở phục vụ tính toán vận chuyển trầm tích; nghiên cứu ngập lụt ven bờ và nước dâng do bão; đánh giá điều kiện thủy lực phục vụ thiết kế, xây dựng và vận hành các công trình, nhà máy, hồ chứa; đánh giá và tối ưu hóa cảng biển và các công trình bảo vệ ven bờ,...

Hệ phương trình của mô hình:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} &= fhv - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_A}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{\tau_{fx}}{\rho_0} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - F_{vx} + \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} \\ \frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial hvu}{\partial x} + \frac{\partial hv^2}{\partial y} &= -fhu - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_A}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\tau_{fy}}{\rho_0} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - F_{vy} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} \end{aligned}$$

Trong đó:

t: Thời gian;

xx, y: Hệ tọa độ Cartesian;

η : dao động mực nước;

d: mực nước tĩnh;

$h = \eta + d$: độ sâu tổng cộng;

u, v: trung bình vận tốc theo phương x và y;

$f = 2\omega \sin \phi$: tham số lực Coriolis, (ω – tốc độ góc, ϕ – vĩ độ địa lý);

g: gia tốc trọng trường;

p_A : áp suất khí quyển tại mặt nước;

ρ : mật độ nước;

ρ_0 : mật độ tham chiếu của nước;

τ_{fx}, τ_{fy} : thành phần theo phương x, y của ứng suất hình thành do ma sát đáy, ma sát bề mặt và sức cản dòng chảy;

τ_{sx}, τ_{sy} : thành phần theo phương x, y của ứng suất hình thành do gió;

ρ_0 : mật độ tham chiếu nước;

τ_{fx}, τ_{fy} : Thành phần theo phương x, y của ứng suất hình thành do ma sát đáy, ma sát bề mặt và sức cản dòng chảy;

τ_{sx}, τ_{sy} : Thành phần theo phương x, y của ứng suất hình thành do gió;

$F_v = (F_{vx}, F_{vy})$: lực cản gây ra bởi thực vật;

T_{xx}, T_{xy}, T_{yy} : ứng suất bên bao gồm ma sát do nhớt, ma sát rối, đối lưu khác.

Ứng suất bên thường được dự tính bởi phương trình nhớt xoáy dựa trên vận tốc trung bình theo độ sâu:

$$\begin{aligned} T_{xx} &= 2\nu \frac{\partial u}{\partial x}, & T_{xy} &= \nu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right), \\ T_{yy} &= 2\nu \frac{\partial v}{\partial y} \end{aligned}$$

Trong đó: ν : nhớt xoáy. Chất lỏng được cho là không nén được.

2.1.2. Mô hình phổ sóng MIKE 21 Spectral Wave FM (SW) [9]

MIKE 21 Spectral Wave FM (SW) là mô hình phổ sóng – gió hiện đại thế thứ 3. Mô hình mô phỏng sự phát triển, tiêu tán và lan truyền của sóng gió, sóng lừng tại các khu vực ngoài khơi và ven bờ. Lưới tính toán phi cấu trúc được áp dụng giúp mô tả chính xác đường bờ, tối ưu hóa lưới tính toán, ví dụ: trong 1 miền tính toán có thể áp dụng lưới tính có độ phân thô cho các khu vực nước sâu, tại vùng nước nông và công trình áp dụng lưới tính toán độ phân giải cao.

Phương trình tổng quát trong MIKE 21 SW được là phương trình cân bằng tác động sóng được xây dựng trong hệ tọa độ phẳng hoặc hệ tọa độ cầu. Trong phương ngang hệ tọa độ phẳng, phương trình cân bằng tác động sóng là:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma}$$

Trong đó:

$N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$ là mật độ tác động;

t là thời gian;

$\vec{x} = (x, y)$ là hệ tọa độ phẳng;

$\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ là vận tốc lan truyền của nhóm sóng trong không gian bốn chiều $\vec{x}, \sigma$ và θ ;

S là số hạng nguồn cho phương trình cân bằng năng lượng;

∇ là toán tử vi phân 4 chiều trong không gian $\vec{x}, \sigma, \theta$.

Các đặc trưng tốc độ lan truyền được cho bởi quan hệ:

$$\begin{aligned} (c_x, c_y) &= \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_x + \vec{U} \\ &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \vec{U} \end{aligned}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla_x d \right] - c_x \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial \sigma}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right]$$

Trong đó, s là tọa độ không gian theo hướng lan truyền sóng θ và m là một tọa độ vuông góc với s . ∇_x là toán tử vi phân 2 chiều trong không gian x . Ứng dụng của MIKE 21 SW FM gồm: Mô phỏng chế độ sóng các khu vực ngoài khơi ven bờ; cung cấp dữ liệu phục vụ tính toán vận chuyển trầm tích; đánh giá ảnh hưởng công trình đến chế độ sóng...

2.2. Thiết lập mô hình

Phạm vi nghiên cứu mô hình toán được thực hiện xây dựng hình bán nguyệt với tâm tại khu vực Tân An mở rộng về phía biển khoảng 60 km (tới vị trí điểm sóng ngoài khơi có tọa độ $108^0E - 17^0N$). Lưới tính toán là lưới phi cầu trúc (tam giác) với kích thước khác nhau được xây dựng chi tiết hóa khu vực nghiên cứu và thô dần các

khu vực lân cận. Kích thước ô lưới nhỏ nhất là 50 m và lớn nhất là 1000 m (Hình 1).

Số liệu đầu vào cho mô hình:

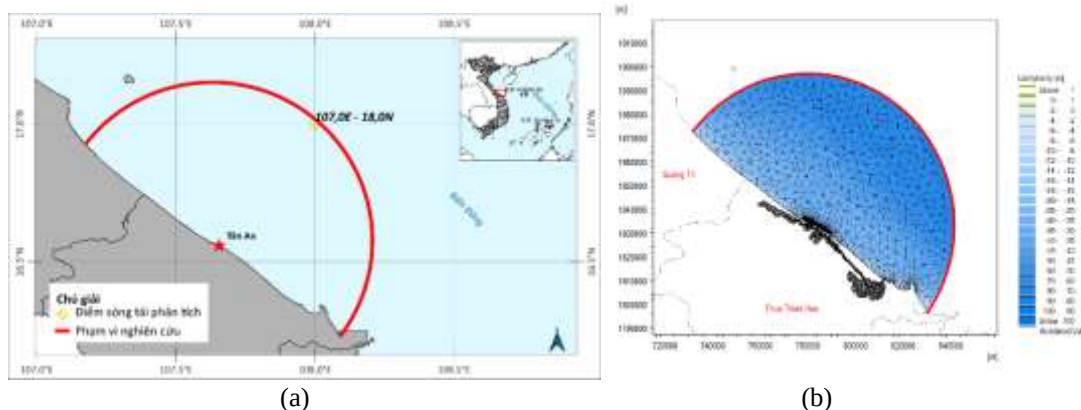
- Mực nước thủy triều được trích xuất từ công cụ dự báo thủy triều toàn cầu - MIKE21 toolbox (8 sóng triều: $M_2, S_2, K_1, O_1, N_2, P_1, K_2, Q_1$);

- Biên lưu lượng sông Hương từ mô hình MIKE11;

- Biên sóng được xây dựng từ dữ liệu sóng tái phân tích trích xuất từ cơ sở dữ liệu toàn cầu ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) có độ phân giải $0,5^\circ$ tại tọa độ $108,0E - 17,0N$ [10];

- Trường gió và áp suất khí quyển được xây dựng từ cơ sở dữ liệu tái phân tích toàn cầu ERA5 của Trung tâm Dự báo Thời tiết hạn vừa Châu Âu (ECMWF) độ phân giải $0,25^\circ$ [10];

Thời gian mô phỏng: từ ngày 01/01/2020 đến ngày 31/12/2020.



Hình 1. Phạm vi (a) và lưới tính (b) của mô hình.

2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Trước khi được sử dụng cho mục đích nghiên cứu, mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định với các bộ số liệu hải văn đo đạc tại khu vực nghiên cứu. Số liệu quan trắc được sử dụng bao gồm hai chuỗi số liệu độc lập là kết quả đo đạc thực tiễn bằng thiết bị tự ghi các yếu tố mực nước, sóng và dòng chảy (AWAC 600-kHz) tại vị trí W1 từ ngày 24/07 – 07/08/2022 và vị trí W2 từ ngày 13/5 – 20/05/2020 (Hình 2).

Để đánh giá sự phù hợp của mô hình sử dụng, nghiên cứu sử dụng chỉ số RMSE (Root

mean square error) nhằm đánh giá sự chênh lệch giữa 2 bộ giá trị thực đo và mô phỏng:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_i - O_i)^2}{n}}$$

Trong đó:

$RMSE$: sai số quân phương;

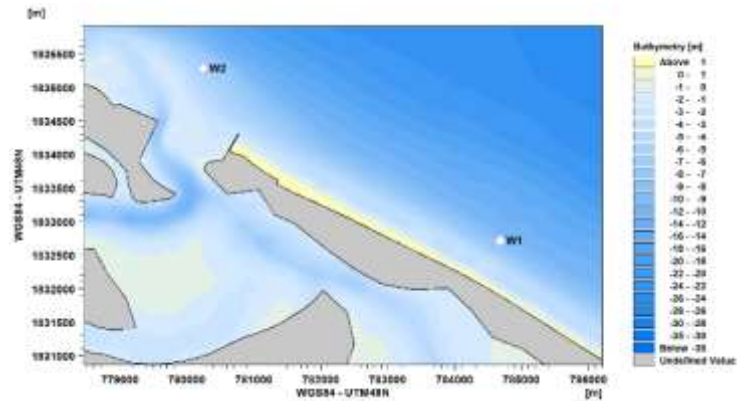
i : chỉ số;

X_i : giá trị mô phỏng;

O_i : giá trị quan trắc;

n : độ dài (số giá trị) của chuỗi;

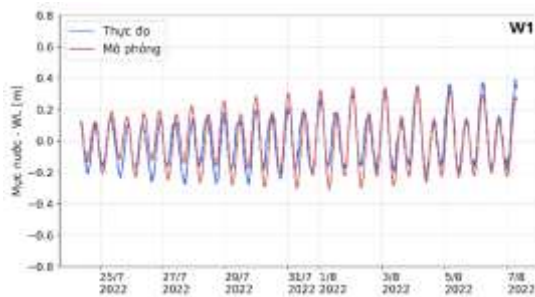
Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình được tổng hợp trong Bảng 1.



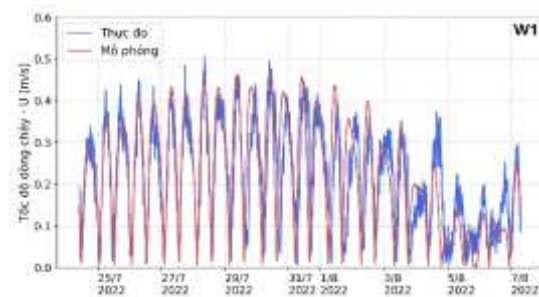
Hình 2. Địa hình khu vực nghiên cứu cùng vị trí 2 trạm quan trắc hải văn W1 và W2.

Bảng 1. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

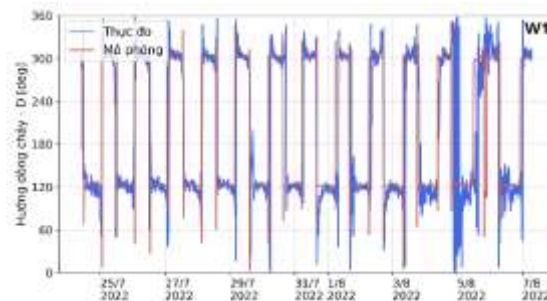
STT	Chuỗi giá trị	Chỉ số RMSE	
		Hiệu chỉnh- Trạm W1	Kiểm định – Trạm W2
1	Mô hình lan truyền sóng		
	Độ cao sóng [m]	0,13	0,08
	Chu kỳ sóng [s]	3,1	2,01
	Hướng sóng [độ]	81	12,6
2	Mô hình dòng chảy		
	Mức nước [m]	0,08	0,07
	Vận tốc dòng chảy [m/s]	0,08	0,10
	Hướng dòng chảy [độ]	52,6	83



(a)

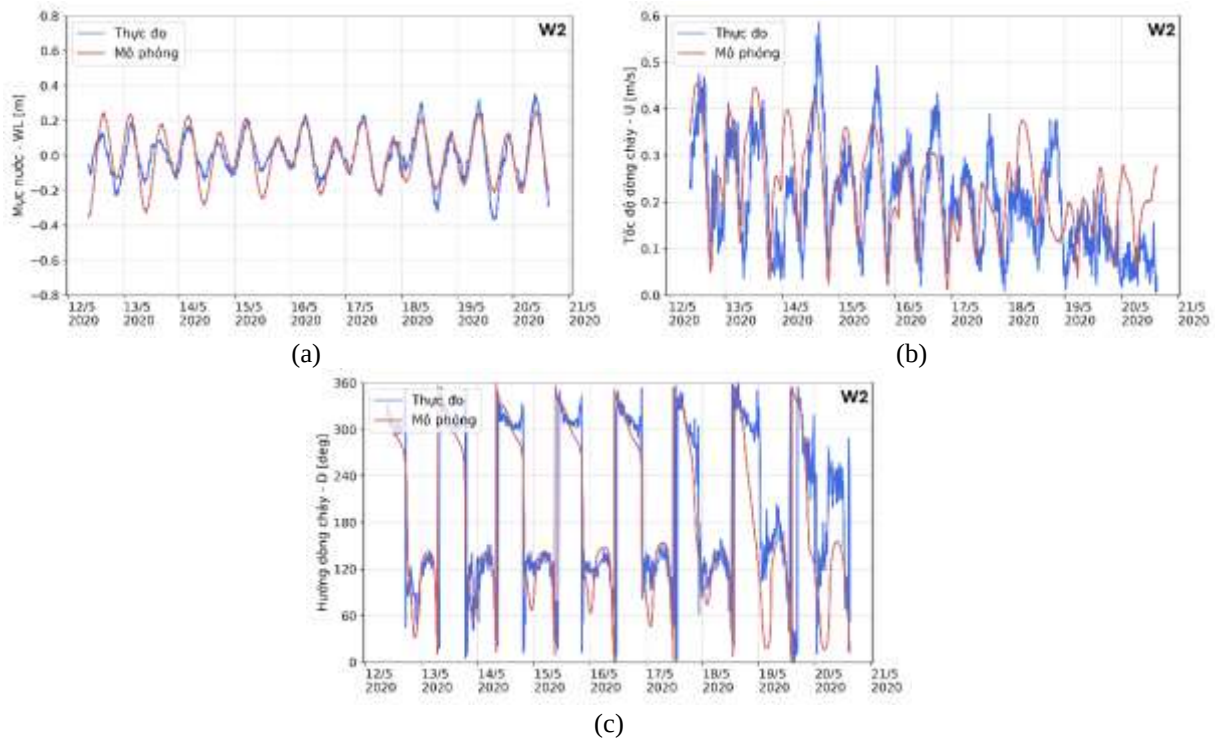


(b)

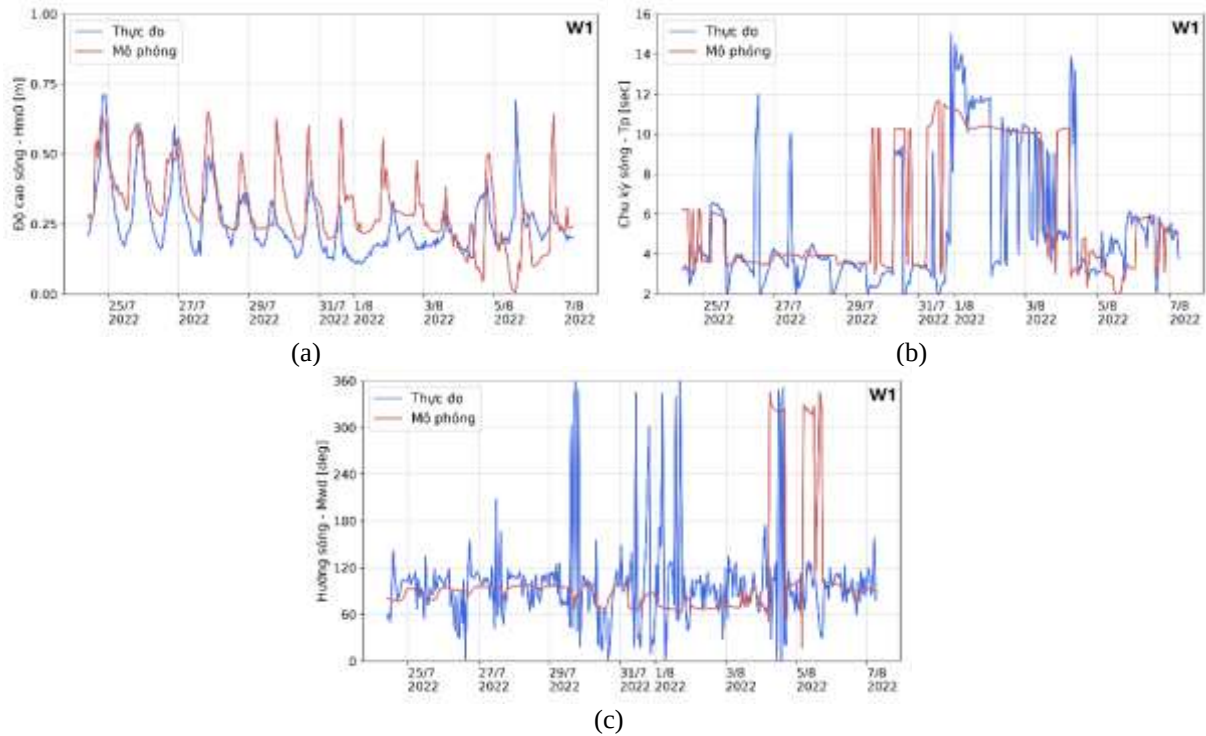


(c)

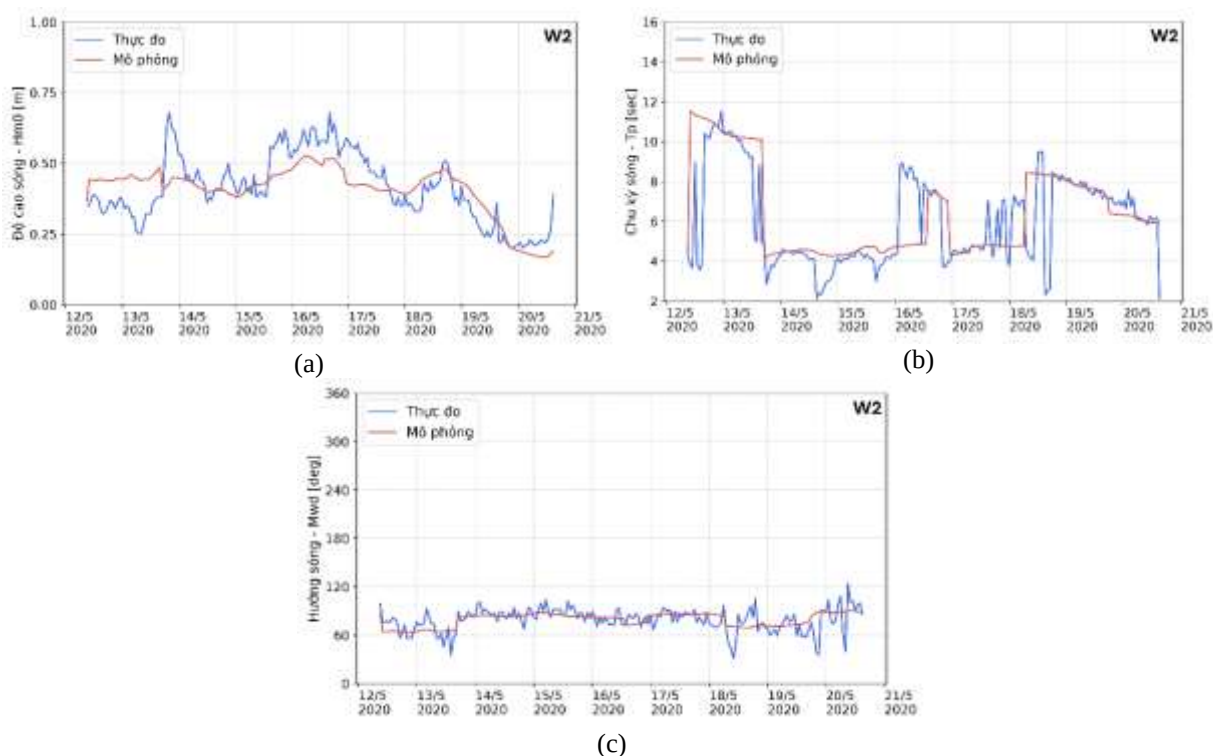
Hình 3. Mức nước (a), vận tốc dòng chảy (b), và hướng dòng chảy (c) giữa tính toán và thực đo tại trạm W1.



Hình 4. Mực nước (a), vận tốc dòng chảy (b), và hướng dòng chảy (c) giữa tính toán và thực đo tại trạm W2.



Hình 5. Độ cao sóng (a), chu kỳ sóng (b) và hướng sóng (c) giữa tính toán và thực đo tại trạm W1.



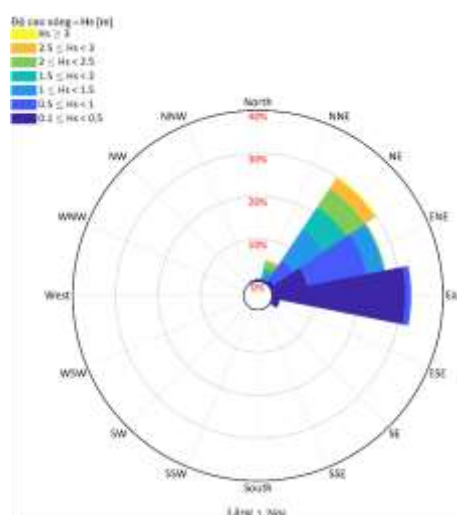
Hình 6. Độ cao sóng (a), chu kỳ sóng (b) và hướng sóng (c) giữa tính toán và thực đo tại trạm W2.

Mô hình đã hiệu chỉnh cho được tham số Manning là $45(m^{1/3}/s)$ và hệ số ma sát gió là 0,018. So sánh giữa kết quả mô phỏng và thực đo tại 2 điểm W1 và W2 cho thấy sai số chấp nhận được (Hình 3-6). Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định đã xác định được bộ thông số mô hình đủ phù hợp để tiếp tục áp dụng cho mô phỏng thời gian 1 năm trọn vẹn nhằm phục vụ bước nghiên cứu tiếp theo đó là đánh giá, phân tích các kết quả thu được.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Chế độ sóng

Để thực hiện đánh giá chế độ sóng tại khu vực nghiên cứu, bài báo thực hiện trích xuất dữ liệu mô phỏng sóng năm 2020 tại ven bờ khu vực nghiên cứu (đồng mức khoảng -5 m). Dựa trên các dữ liệu, tiến hành phân tích thống kê các yếu tố về chiều cao, hướng và chu kỳ sóng.

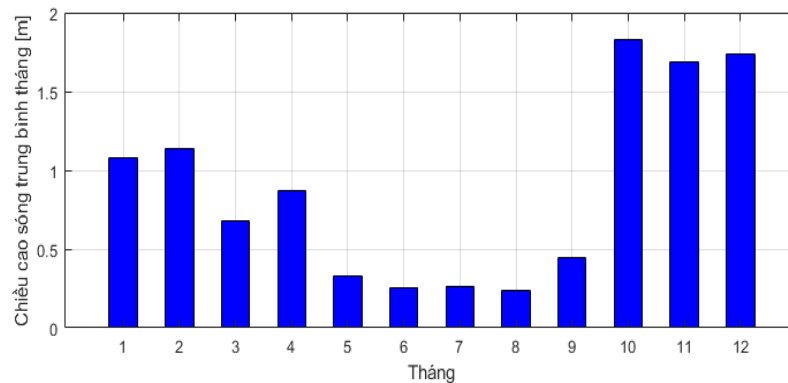


Hình 7. Hoa sóng khu vực nghiên cứu.

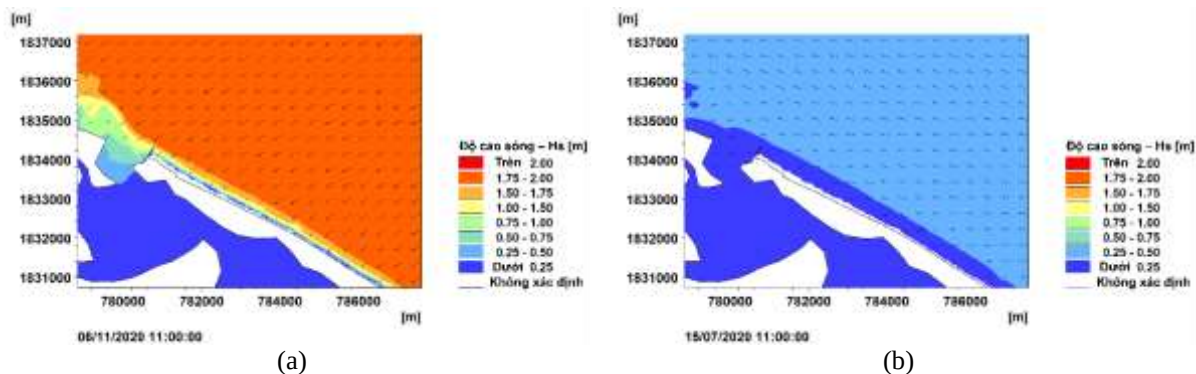
Các kết quả mô phỏng sóng tại khu vực nghiên cứu cho thấy các đặc trưng về điều kiện sóng ven bờ tại khu vực nghiên cứu như sau:

Hướng sóng chủ đạo khu vực ven bờ nằm trong cung từ Bắc – Đông với tần suất chiếm 96,94%. Các hướng xuất hiện chiều cao sóng lớn là Bắc Đông Bắc, Đông Bắc và Đông Đông Bắc do ảnh hưởng của gió mùa Đông Bắc và các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực (Hình 7). Chiều cao sóng trung bình tháng khu vực ven bờ dao động trong

khoảng từ 0,24 – 1,83 m, trong đó: Thời kỳ gió mùa Tây Nam (tháng 5 – 8), chiều cao sóng trung bình tháng dao động từ 0,24 – 0,33 m. Thời kỳ gió mùa Đông Bắc (tháng 10 đến tháng 4 năm sau), chiều cao sóng trung bình tháng dao động từ 0,68 – 1,83 m (Hình 8). Hướng sóng chủ đạo có hướng xiên góc so với đường bờ (Hình 9).



Hình 8. Chiều cao sóng trung bình tháng.



Hình 9: Trường sóng khu vực tại 1 thời điểm trong (a) mùa gió Đông Bắc và (b) mùa gió Tây Nam.

3.2. Chế độ thủy lực

3.2.1. Mực nước

Kết quả mô phỏng và trích xuất mực nước mô phỏng 01 năm tại vị trí khu vực nghiên cứu cho thấy: Mực nước tổng hợp tại khu vực trong 01 năm mô phỏng dao động trong khoảng từ - 0,75 m đến 1,79 m. Vào thời kỳ gió mùa Tây Nam mực nước tổng hợp hạ thấp, còn thời kỳ mùa gió Đông Bắc mực nước biển gia tăng (Hình 10a).

Thủy triều thu được bằng phương pháp phân tích điều hoà biến trình mực nước tổng hợp năm

2020 cho thấy khu vực biển Tân An có chế độ bán nhật triều đều với biên độ triều nhỏ (trung bình 0,45 m). Mực triều lớn nhất trong năm đạt 0,78 m và mực triều thấp nhất trong năm đạt - 0,68 m.

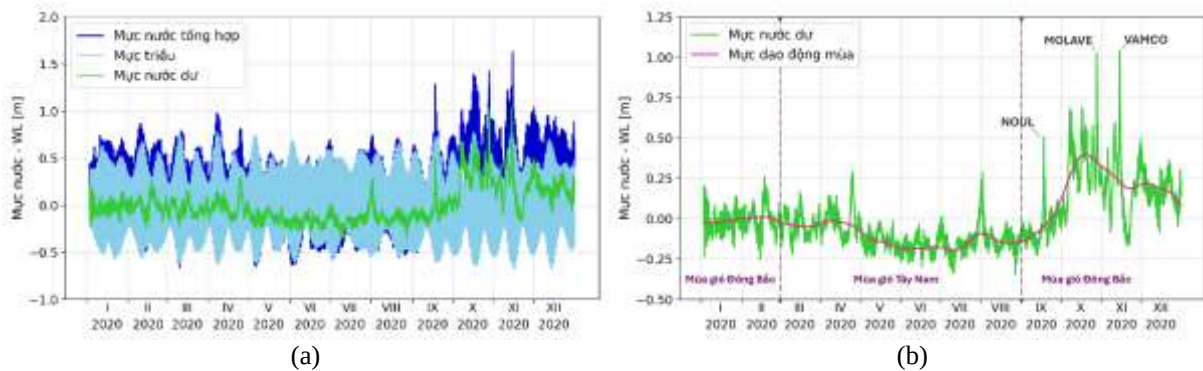
Để làm rõ dao động của mực nước biển theo chu kỳ mùa, kết quả mô phỏng mực nước biển năm 2020 được đưa vào phân tích theo 2 phương pháp.

Phương pháp thứ nhất đó là tính toán trung bình tháng của biến trình mực nước tổng hợp: các giá trị mực nước hàng giờ trong mỗi tháng được nhóm lại và tính toán giá trị trung bình

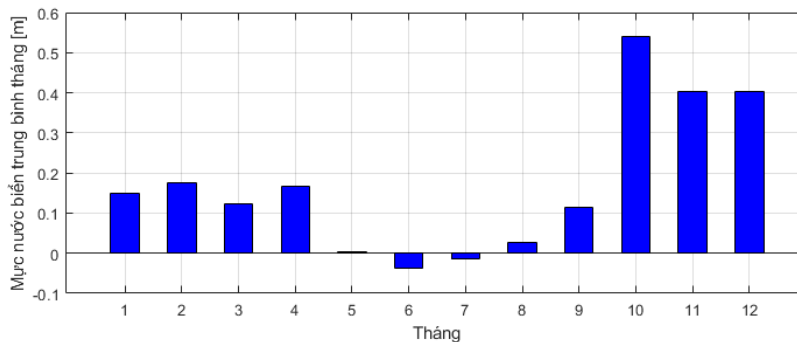
cộng (Hình 11). Từ chuỗi giá trị trung bình tháng thu được có thể thấy rõ hơn xu hướng biến đổi của mực nước qua từng tháng trong năm. Tuy nhiên, do đầu vào của phép tính trung bình là mực nước tổng hợp, kết quả trung bình tháng chịu ảnh hưởng không nhỏ bởi các giá trị mực nước cực trị xuất hiện trong thời gian ngắn (có thể gọi là các giá trị ngoại biên) ví dụ như nước dâng trong bão. Phương pháp này cũng không cho phép tìm ra các thành phần cụ thể chi phối dao động mực nước biển theo mùa.

Khắc phục nhược điểm trên, phương pháp thứ hai được áp dụng đó là phương pháp phân

tích dao động dư nhằm “bóc tách” các thành phần đóng góp vào dao động mực nước biển theo mùa. Với phương pháp này, thành phần mực triều sẽ được tách ra khỏi mực nước tổng hợp thông qua phân tích điều hoà thủy triều, sau đó biến trình mực dao động dư còn lại sau khi tách triều sẽ được là trơn bằng kỹ thuật lọc tần số để loại bỏ các dao động chu kỳ ngắn. Các biến trình mực triều, mực dao động dư, và mực dao động mùa thu được từ phương pháp này là các chuỗi giá trị hàng giờ và năm trong miền thời gian tương tự như chuỗi mực nước tổng hợp (Hình 10).



Hình 10. Biến trình (a) mực nước, mực triều và mực dao động dư và (b) mực dao động dư và dao động mùa tại điểm trích thuộc khu vực nghiên cứu năm 2020.



Hình 11. Biểu đồ mực nước biến trung bình tháng trong năm 2020.

Cả hai chuỗi kết quả đều cho thấy sự biến đổi lên xuống trong năm theo mùa – trong những tháng gió mùa Đông Bắc mực nước dâng cao và những tháng gió mùa Tây Nam mực nước hạ. Trong đó, mực nước dâng theo mùa đạt cao nhất vào tháng 10 và thấp nhất vào tháng 6 – tháng 7

(Hình 10, 11). Khoảng cuối tháng 8 - đầu tháng 9/2020, dao động mùa bắt đầu tăng tương đối nhanh và tăng mạnh hơn nữa vào cuối tháng 9, đạt đỉnh ngay trong tháng 10 (~ 0,38 m) sau đó hạ dần khi tiến về cuối năm nhưng với tốc độ chậm hơn khi tăng (Hình 10b). Trong khi đó,

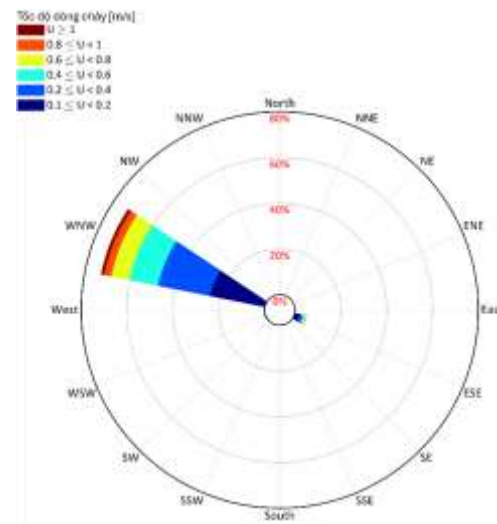
mực nước biển hạ trong mùa gió Tây Nam bắt đầu vào tháng 3/2020 khi giá trị mực nước xuống dưới mực nước trung bình (MSL), các tháng tiếp theo chứng kiến mực dao động mùa hạ dần chậm và không vượt quá -0,2 m (Hình 10b).

3.2.2. Dòng chảy

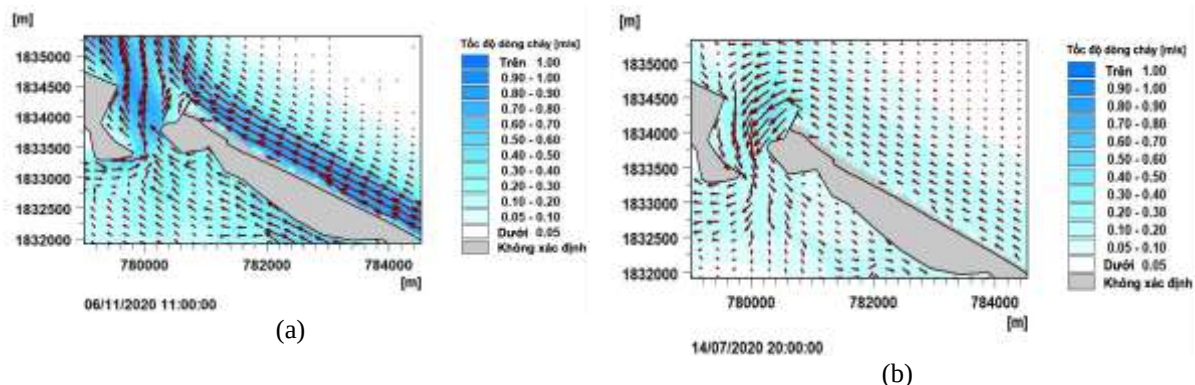
Hướng dòng chảy chủ đạo ven bờ khu vực nghiên cứu có hướng Tây Tây Bắc - Đông Đông Nam, trong đó dòng chảy về hướng Tây Tây Bắc là chủ đạo do dòng chảy dọc bờ hình thành do sóng (Hình 12).

Trong thời kỳ gió mùa Tây Nam mực nước hạ thấp và chiều cao sóng trong thời kỳ này cũng tương đối nhỏ nên dòng chảy ven bờ tại khu vực trong thời điểm này khá nhỏ (Hình 13b). Giá trị vận tốc dòng chảy trung bình đạt giá trị là: 0,15 m/s. Trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc mực nước dâng kết hợp tạo điều kiện cho sóng lớn hình thành bởi gió mùa Đông Bắc áp sát đường bờ, tạo nên dòng chảy dọc bờ từ hướng Đông Đông

Nam lên Tây Tây Bắc (Hình 13a). Giá trị vận tốc dòng chảy trung bình đạt giá trị là: 0,51 m/s.



Hình 12. Hoa dòng chảy khu vực nghiên cứu.



Hình 13. Trường dòng chảy khu vực tại 1 thời điểm trong (a) mùa gió Đông Bắc và (b) mùa gió Tây Nam.

3.3. Nước dâng cực đại trong bão

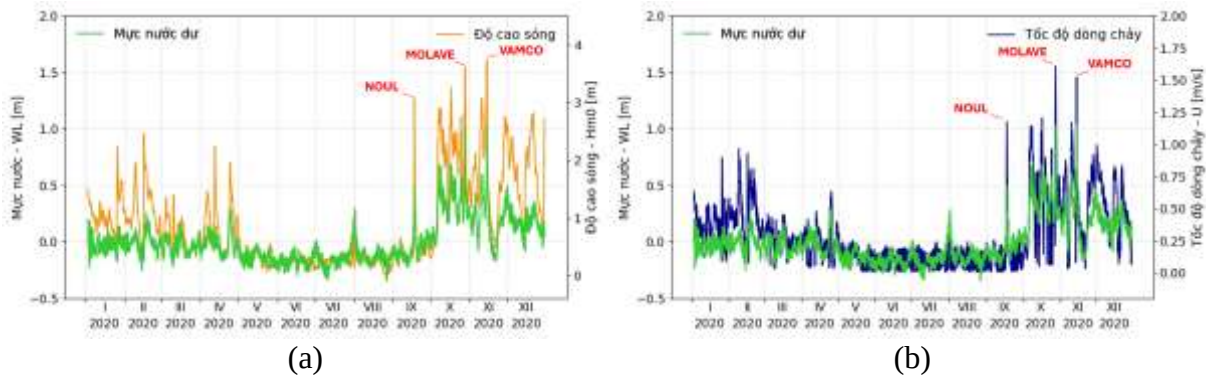
Các cơn bão đổ bộ vào miền Trung và gây ảnh hưởng đến vùng biển Tân An, Huế trong năm 2020 gồm NOUL (tháng 9), MOLAVE (tháng 10), và VAMCO (tháng 11). Trong đó, mực nước biển cao nhất trong năm xuất hiện trong bão VAMCO (Hình 10) và sóng cao nhất trong năm cũng xuất hiện dưới ảnh hưởng của cơn bão này (Hình 14a). Tuy nhiên, tốc độ dòng

chảy cao nhất trong năm xuất hiện trong thời kỳ bão MOLAVE thay vì VAMCO (Hình 14b).

Đối với nước biển dâng trong các cơn bão ảnh hưởng đến khu vực Tân An trong năm 2020, có thể thấy các yếu tố thủy triều, nước dâng theo mùa và nước dâng do bão cùng đóng góp vào mực nước tổng hợp cực đại. Mực nước biển cực đại xuất hiện dưới ảnh hưởng của ba cơn bão này lần lượt là: 1,28 m (6 giờ ngày 18/09), 1,43 m (15 giờ ngày 28/10), và 1,48 m (5 giờ ngày 15/11,

múi giờ GMT+7). Tương ứng, độ cao lớp nước nền (= mực triều + mực dao động mùa) tại cùng thời điểm: 0,64 m, 0,60 m, và 0,98 m (Bảng 2). Sau khi tách giá trị mực nước trung bình năm

(0,15 m) khỏi mực nước tổng hợp, tỉ lệ đóng góp của từng yếu tố đến giá trị mực nước tổng hợp có thể được xác định theo phần trăm.



Hình 14. Biến trình (a) mực nước dư và chiều cao sóng, (b) mực nước dư và tốc độ dòng chảy tại khu vực nghiên cứu năm 2020.

Kết quả phân tách và thống kê cho thấy mực nước cao nhất trong năm 2020 xuất hiện trong thời gian ảnh hưởng của cơn bão VAMCO, chủ yếu do bão gây nước dâng trên nền lớp nước dày với tổng hợp của mực triều và mực dao động mùa chiếm tới 2/3 mực nước tổng hợp. Trong khi đó, mực nước cực đại trong bão MOLAVE là hệ

quả chủ yếu của nước dâng do bão lớn (gần 0,7m) trong thời kỳ dao động mùa đạt đỉnh. Cơn bão NOUL đổ bộ vào thời gian mực dao động mùa đang tăng nhanh nhưng có độ lớn chưa đáng kể và do đó thành phần đóng góp chủ yếu là thủy triều thiên văn và nước dâng do trường gió áp trong bão (Bảng 2).

Bảng 2: Các thành phần mực nước biển tại thời điểm xuất hiện mực nước biển cực đại trong các cơn bão năm 2020

Cơn bão	NOUL		MOLAVE		VAMCO	
	Độ lớn	Tỉ lệ %	Độ lớn	Tỉ lệ %	Độ lớn	Tỉ lệ %
Mực nước tổng hợp	1,13 m	100%	1,28 m	100%	1.48 m	100%
Mực triều thiên văn	0,69 m	61%	0,25 m	20%	0,75 m	51%
Mực dao động mùa	-0,05 m	-4%	0,35 m	27%	0,23 m	15%
Mực nước dâng do bão	0,49 m	43%	0,68 m	53%	0,50 m	34%
Tốc độ dòng chảy	0,97 m/s		1,54 m/s		1,52 m/s	
Độ cao sóng	2,85 m		3,60 m		3,42 m	

4. Kết luận và kiến nghị

Quá trình mô phỏng và phân tích, đánh giá chế độ thủy động lực tại khu vực nghiên cứu cho thấy chế độ thủy động lực biến khu vực này biến đổi rõ rệt theo mùa. Cụ thể, bờ biển Tân An vào thời kỳ mùa hè, độ cao sóng thấp, mực nước thấp và dòng chảy nhỏ chủ yếu là dòng triều. Ngược lại vào thời kỳ gió mùa đông bắc, mực nước dâng

lên do ảnh hưởng của khí áp, độ cao sóng lớn, dòng chảy lớn hơn và chủ yếu là dòng dọc bờ do sóng. Đặc biệt, thời kỳ gió mùa đông bắc lại trùng với thời gian các cơn bão và áp thấp nhiệt đới thường xuyên đổ bộ hoặc gây ảnh hưởng. Do đó mực nước dâng do bão kết hợp với dao động mùa trên nên thủy triều thấp làm mực nước biển dâng cao. Từ đây, có thể rút ra nhận định về đặc

trung của vùng biển Tân An, Huế đó là tác dụng của các quá trình khí tượng – khí hậu lên chế độ hải văn khu vực này chiếm ưu thế so với tác dụng của đại dương. Do đó, công tác nghiên cứu thủy động lực biển trong khu vực hoặc lân cận nhằm phục vụ các nghiên cứu chuyên sâu phức tạp như tính toán xói lở - bồi tụ hoặc phục vụ sản xuất thiết kế, vận hành công trình không thể bỏ qua các tác nhân ngoại lực trên biên khí quyển.

Tài liệu tham khảo

- [1] T. T. Tung, Coastal Erosion Along the Sand Barrier, Case Study in Hue – Vietnam, M. Sc. Thesis H. E., Delft, The Netherlands, 2001.
- [2] N. T. Lam, M. J. F. Stive, H. J. Verhagen, M. van der Wegen, Hydrodynamic Modelling of Tidal Inlets in Hue, Vietnam, Copedec Colombo, Sri Lanka, 2003.
- [3] N. T. Lam, H. J. Verhagen, M. V. D. Wegen, Analysis of Thuan An and Tu Hien Estuaries Stability Using Escoffier Diagram, Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Hanoi, No. 7, 2004 (in Vietnamese).
- [4] N. T. Lam, M. J. F. Stive, H. J. Verhagen, Z. B. Wang, Morphodynamics of Hue Tidal Inlets, Vietnam, Asian and Pacific Coasts Nanjing, China, 2007.
- [5] N. T. Lam, M. J. F. Stive, H. J. Verhagen, Z. B. Wang, Seasonal Behaviour of Tidal Inlets in A Tropical Monsoon Area, Copedec VII, Dubai, UAE, 2008,
- [6] D. D. Duc, N. X. Loc, N. K. Cuong, T. N. Anh, Preliminary Results of Modelling Simulation for High-resolution Hydrodynamic Fields for Central Vietnam's Water, Journal of Science: Earth and Environmental Studies, Vietnam National University, Hanoi, Vol. 37, No. 04, 2021, pp. 43-51 (in Vietnamese).
- [7] N. T. Hung, V. D. Cuong, N. T. Thanh, N.V. Hung, T.G. Quan., Modeling of Hydrodynamic Regimes for the Thuan An Estuary, Journal of Water Management Modeling, Vol. 32, No. S531, 2024, <https://doi.org/10.14796/JWMM.S531>.
- [8] MIKE 21 Flow Model FM, Hydrodynamic, Scientific Documentation, 2022.
- [9] MIKE 21 Spectral Wave Model SW, Hydrodynamic, Scientific Documentation, 2022.
- [10] H. Hersbach, B. Bell, P. Berrisford, G. Biavati, A. Horányi, J. M. Sabater, J. Nicolas, C. Peubey, R. Radu, I. Rozum, D. Schepers, A. Simmons, C. Soci, D. Dee, J. N. Thépaut, ERA5 Hourly Data on Single Levels from 1940 to Present, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2023, <https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47>.