

Numerical modeling and validating waves generated by typhoons in the East Vietnam Sea using satellite data

Pham Tien Dat^{1*}, Nguyen Minh Huan¹, Nguyen Phuong Anh²

¹*Faculty of Meteorology, Hydrology and Oceanography, VNU University of Science, Hanoi, Vietnam*

²*National Centre for Hydro-Meteorological Forecasting, Hanoi, Vietnam*

*E-mail: datpt@hus.edu.vn

Received: 1 June 2020; Accepted: 24 December 2020

©2021 Vietnam Academy of Science and Technology (VAST)

Abstract

Calculating waves generated by typhoons is one of the most important tasks for wave forecasting at a stormy region like the East Vietnam Sea. It is, however, difficult to access the accuracy of calculated wave heights due to the lack of observed data. An approach of combining numerical models and satellite data has been widely used. In this study, we used the WAVEWATCH III model to simulate wave fields caused by three strong typhoons: Damrey (2005), Ketsana (2009) and Haiyan (2013), then compared significant wave heights with the merged satellite observations. The results show that the BIAS values are small and negative, indicating that the wave heights from the model are lower than those from satellites in all cases. In contrast, the RMSE values of the three cases are considerably different but are still below 1 m. Finally, the average correlation coefficient is highest in typhoon Damrey ($r = 0.94$) whereas in typhoon Ketsana and Haiyan, $r = 0.84$ and $r = 0.87$, respectively. In conclusion, the study suggests that the WAVEWATCH III model has good performance for typhoon wave calculations and can be useful for wave forecasting in the East Vietnam Sea.

Keywords: East Vietnam Sea, typhoon, waves.

Tính toán và kiểm nghiệm trường sóng trong bão bằng số liệu sóng vệ tinh cho khu vực Biển Đông

Phạm Tiến Đạt^{1*}, Nguyễn Minh Huân¹, Nguyễn Phương Anh²

¹Khoa Khí tượng, Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội, Việt Nam

²Trung tâm Dự báo Khí tượng Thủy văn Quốc Gia, Hà Nội, Việt Nam

*E-mail: datpt@hus.edu.vn

Nhận bài: 1-6-2020; Chấp nhận đăng: 24-12-2020

Tóm tắt

Tính toán, dự báo trường sóng trong bão có ý nghĩa quan trọng trong công tác phòng chống và giảm thiểu thiệt hại do bão trên khu vực ven bờ và ngoài khơi Biển Đông nước ta. Tuy nhiên việc kiểm chứng độ chính xác của mô hình dự báo sóng còn nhiều khó khăn bởi sự thiếu hụt về mạng lưới quan trắc trên biển. Để khắc phục vấn đề đó, kiểm chứng mô hình tính sóng bằng số liệu quan trắc vệ tinh đang ngày càng phổ biến và nhận được nhiều sự quan tâm. Nghiên cứu này đi sâu nghiên cứu đánh giá khả năng dự báo sóng trong bão của mô hình WAVEWATCH III cho 3 cơn bão mạnh đến rất mạnh hoạt động trên khu vực Biển Đông: Bão Damrey (2005), bão Ketsana (2009) và bão Haiyan (2013). Độ cao sóng tính toán sau đó được kiểm nghiệm với số liệu vệ tinh hoạt động trong thời gian của từng cơn bão và thể hiện qua 3 chỉ số: BIAS, RMSE và hệ số tương quan. Giá trị sai số BIAS cho cả 3 cơn bão là khá nhỏ và đạt giá trị âm thể hiện kết quả tính sóng từ mô hình thiên thấp so với số liệu thực đo với giá trị trung bình cho bão Damrey, Ketsana và Haiyan lần lượt là: -0,28 m; -0,23 m và -0,35 m. Sai số RMSE tuy có sự khác biệt giữa các trường hợp nhưng đều đạt giá trị dưới 1 m cho thấy độ chính xác của mô hình là khá tốt. Hệ số tương quan đạt giá trị cao nhất trong bão Ketsana ($r = 0,94$) trong khi bão Damrey và Haiyan thấp hơn một chút với $r = 0,84$ và $r = 0,87$. Nhìn chung mô hình WAVEWATCH III cho kết quả độ cao sóng khá tốt trong các cơn bão có cường độ mạnh và hoàn toàn có khả năng ứng dụng trong dự báo tính toán trường sóng trong điều kiện bão và áp thấp nhiệt đới trên Biển Đông.

Từ khóa: Biển Đông, bão, sóng.

MỞ ĐẦU

Trường sóng trong bão luôn là mối quan tâm hàng đầu về cả ý nghĩa khoa học trong việc hiểu các tương tác vật lý của sóng gió cũng như trong dự báo các tai biến tiềm tàng. Một cơn bão mạnh với gió biến đổi nhanh có thể hình thành nên một trường sóng phức tạp lan truyền hàng nghìn kilômét tính từ tâm bão tạo nên trường sóng biến đổi mạnh mẽ theo cả không gian và thời gian. Biển Đông là vùng biển chịu nhiều ảnh hưởng của bão với số lượng bão và áp thấp nhiệt đới

hoạt động trung bình 7 cơn/năm và số lượng, cường độ bão đang có những biến động phức tạp trong bối cảnh biến đổi khí hậu. Do đó, việc phát triển và ứng dụng các mô hình tính toán trường sóng trong bão có ý nghĩa thiết thực trong giảm thiểu tác hại của một trong những thiên tai khí tượng thủy văn biển nguy hiểm nhất cho khu vực ven bờ biển và ngoài khơi Biển Đông Việt Nam.

Sự phát triển vượt bậc của khoa học tính toán trong những thập kỷ gần đây cùng sự ra đời của các lý thuyết và các mô hình tính sóng

thế hệ mới đã nâng cao khả năng tính toán sóng trong điều kiện thời tiết gió bão. Để kiểm chứng trường sóng trong bão từ các mô hình tính sóng, cần duy trì và phát triển một mạng lưới quan trắc hoàn thiện và đầy đủ trong thời gian dài trong khu vực biển cần nghiên cứu. Tuy nhiên, phương pháp này tốn chi phí lớn, không phù hợp khảo sát ở biển xa, không thể quan trắc khi có sóng lớn, nhất là trong thời gian bão hay các hiện tượng thiên nhiên nguy hiểm khác trên biển. Từ những năm 80 của thế kỷ trước, đo độ cao bề mặt nước biển bằng vệ tinh đã bắt đầu trở thành một hướng tiếp cận mới trong nghiên cứu biển. Hiện nay, độ dài chuỗi số liệu thu thập từ vệ tinh có thể đáp ứng tốt mục đích thử nghiệm, kiểm chứng kết quả tính sóng từ mô hình. Cách tiếp cận này đã được sử dụng trong một số nghiên cứu trong và ngoài nước để tính toán và kiểm chứng trường sóng cho khu vực Biển Đông. Tại Việt Nam, Lê Mạnh Hùng và nnk., (2011) [1] đã sử dụng mô hình MIKE 21 SW FM mô phỏng chế độ sóng Biển Đông và kiểm định bằng việc so sánh kết quả với số liệu sóng quan trắc từ các vệ tinh của tổ chức AVISO. Gần đây, Lê Thanh Chương và nnk., (2018) [2] đã trình bày kết quả sóng, nước dâng do bão bằng việc kết hợp các mô hình họ MIKE (bao gồm MIKE 11 và MIKE 21/3 Coupled) và so sánh số liệu mô hình với số liệu sóng quan trắc từ vệ tinh của AVISO. Trên phạm vi khu vực, Chu et al., (2004) [3] đã sử dụng kết quả độ cao sóng từ mô hình WW3 so sánh với số liệu sóng vệ tinh dọc theo quỹ đạo của vệ tinh TOPEX/Poseidon trong hai mùa gió Đông Bắc và Tây Nam. Zhou et al., (2008) [4] sử dụng mô hình WW3 để nghiên cứu phổ hướng sóng bề mặt trong điều kiện gió bão và cũng kiểm nghiệm kết quả với số liệu từ phao đo và vệ tinh. Gần đây, nghiên cứu của Su Hui et al., (2017) [5] tiếp tục sử dụng bộ số liệu vệ tinh TOPEX kết hợp bộ số liệu tái phân tích của Trung tâm Dự báo thời tiết hạn vừa châu Âu (ECMWF) để chứng minh độ cao sóng tại Biển Đông thay đổi theo mùa tại những khu vực nhất định.

Nhìn chung những nghiên cứu kết hợp kết quả tính toán từ mô hình và kiểm chứng với số liệu sóng vệ tinh cho khu vực Biển Đông còn chưa nhiều và ít những nghiên cứu tính toán cho trường sóng trong điều kiện bão, đặc biệt là

bão mạnh. Do đó, bài báo này sẽ đi sâu đánh giá khả năng dự báo sóng trong bão của mô hình số trị và kiểm nghiệm với số liệu sóng từ vệ tinh. Mô hình được lựa chọn trong nghiên cứu này đó là mô hình sóng thế hệ thứ 3: WAVEWATCH III (sau đây gọi là mô hình WW3) và được áp dụng tính sóng cho 3 cơn bão mạnh và siêu mạnh đã xuất hiện và hoạt động trong khu vực Biển Đông: Damrey (2005), Ketsana (2009) và Haiyan (2013).

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Giới thiệu mô hình

Mô hình phổ sóng đầy đủ thế hệ thứ 3 WW3 được phát triển tại Trung tâm dự báo môi trường - NOAA đã được sử dụng trong rất nhiều nghiên cứu để nghiên cứu sóng bề mặt cũng như được sử dụng làm mô hình trong dự báo nghiệp vụ tại NOAA. Mô hình WW3 đã được kiểm định trong dự báo sóng ở cả quy mô toàn cầu và khu vực.

Mô hình WW3 được phát triển dựa trên nền tảng của mô hình WAM [6–8]. Mô hình WW3 giải phương trình cân bằng phổ của năng lượng sóng dựa trên mật độ phổ $N(k, \theta, x, t)$. Trong mô hình này, một loạt các hàm nguồn đã được đưa vào như truyền năng lượng giữa gió và sóng (tương tác sóng - gió), truyền năng lượng giữa các thành phần sóng cho vùng nước sâu (tương tác phi tuyến sóng - sóng), tiêu tán năng lượng sóng cùng với sóng vỡ ở vùng nước sâu và tiêu tán năng lượng sóng do liên quan tới ma sát đáy,...

Phương trình cân bằng phổ của năng lượng sóng F là một hàm của các tham số pha (bao gồm hệ số sóng k , hướng θ , tần số sóng σ , tần số tuyệt đối ω) thay đổi theo cả miền không gian (\mathbf{x}) và miền thời gian (t):

$$F = F(k, \theta, \sigma, \omega, x, t) \quad (1)$$

Mô hình WW3 mô tả sự tiến triển của phổ sóng hai chiều bằng phương trình như sau:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \dot{X}N + \frac{\partial}{\partial k} kN + \frac{\partial}{\partial \theta} \dot{\theta}N = \frac{S}{\sigma} \quad (2)$$

$$\dot{X} = C_g + U, \quad \dot{k} = -\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial s} - k \frac{\partial U}{\partial s} \quad (3)$$

$$\dot{\theta} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \delta}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} - k \frac{\partial U}{\partial m} \right] \quad (4)$$

Với: C_g : Vận tốc nhóm sóng; $\delta = 2\pi f$; S : Hàm nguồn; N : Mật độ phổ; s : Tọa độ theo hướng θ ; m : Tọa độ vuông góc với s ; U : Độ sâu và thời gian trung bình của vận tốc dòng chảy.

Hàm nguồn S được biểu thị bằng các thành phần của gió đầu vào S_{in} , lan truyền phi tuyến

S_{ln} , tương tác phi tuyến sóng - sóng S_{nl} , sự tiêu tán do bậc đầu sóng S_{ds} , tiêu tán năng lượng do ma sát đáy S_{bot} , tiêu tán do giảm độ sâu gây đổ sóng S_{db} , các thành phần tương tác sóng bậc ba S_{tr} , tán xạ sóng S_{sc} và một số điều kiện khác S_{xx} .

$$S = S_{in} + S_{ln} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{db} + S_{tr} + S_{sc} + S_{xx} \quad (5)$$

Hiện nay, mô hình WW3 đã được sử dụng để tính toán sóng trên quy mô toàn cầu, tuy nhiên mô hình tính toán có độ phân giải ô lưới khá thô ($0,5^\circ \times 0,5^\circ$) với các thông số trong mô hình được áp dụng trên toàn cầu. Mô hình WW3 sử dụng trong nghiên cứu này là phiên bản 5.16 (2016) được phát triển bởi nhóm phát triển mô hình WWIII - NOAA (WW3DG).

Các phương pháp thống kê để kiểm nghiệm mô hình

Để kiểm nghiệm kết quả tính toán trường sóng trong bão với số liệu sóng vệ tinh, nghiên cứu sử dụng các đại lượng thống kê thông dụng hiện nay gồm độ lệch (BIAS), sai số trung bình quân phương (RMS) và hệ số tương quan (r) được tính toán theo công thức sau:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum (H_{model_i} - H_{sat_i}) \quad (6)$$

$$RMS = \left\{ \frac{1}{N} \sum (H_{model_i} - H_{sat_i})^2 \right\}^{1/2} \quad (7)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (H_{model_i} - \overline{H_{model}})(H_{sat_i} - \overline{H_{sat}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (H_{model_i} - \overline{H_{model}})^2 \sum_{i=1}^N (H_{sat_i} - \overline{H_{sat}})^2}} \quad (8)$$

Trong đó: N : Tổng số phần tử của chuỗi (i); H_{model_i} : Số liệu độ cao sóng tính toán; H_{sat_i} : Số liệu độ cao sóng vệ tinh.

THIẾT LẬP MÔ HÌNH

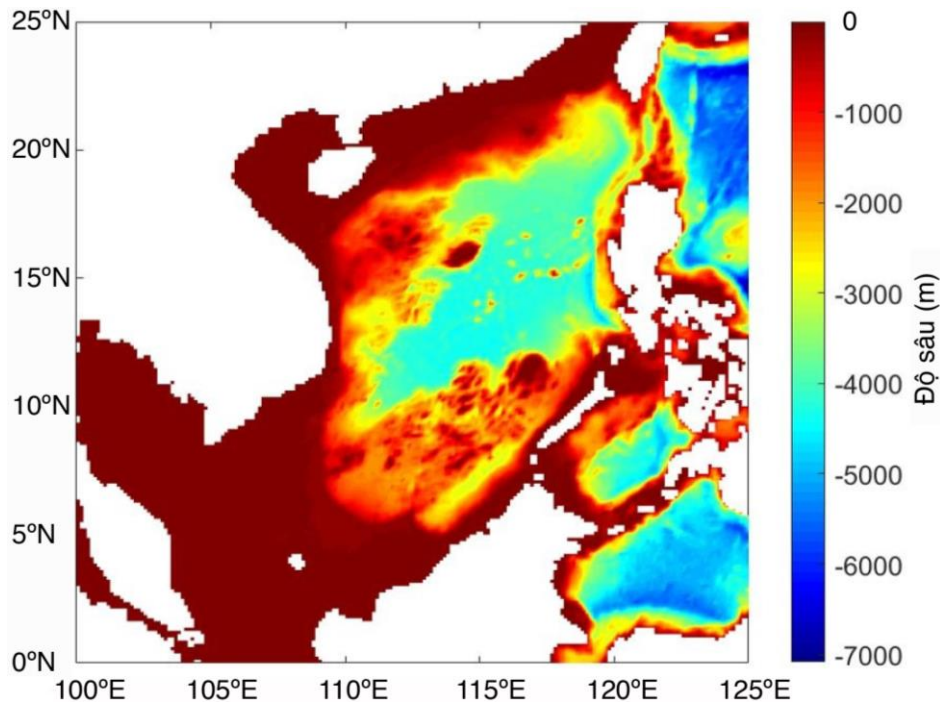
Miền tính trong mô hình WW3 được xác định từ $100-125^\circ E$ và $0-25^\circ N$ (bảng 1, hình 1). Lưới tính có độ phân giải chi tiết $0,125^\circ \times 0,125^\circ$, bao trùm toàn bộ khu vực Biển Đông và quần đảo Philippines. Số liệu địa hình được nội suy từ cơ sở dữ liệu ETOPO-1 của NOAA.

Để đảm bảo độ ổn định cho mô hình, thời gian chạy mô hình được thiết lập ít nhất 1 tuần trước khi các cơn bão ở vào giai đoạn phát triển

mạnh nhất trong khu vực Biển Đông. Các bước thời gian khác nhau được thiết lập trong mô hình WW3 gồm: i) Bước thời gian tính toán tổng quát cho toàn bộ nghiệm của mô hình (300 s) - đây cũng là bước thời gian để nội suy trường gió đầu vào và là bước thời gian lớn nhất trong tích phân các thành phần hàm nguồn; ii) Bước thời gian cho phổ sóng lan truyền trong không gian (300 s) - đây cũng là giá trị phải thỏa mãn điều kiện Curren-Friedrich's-Levy (CFL) của mô hình; iii) Bước thời gian lớn nhất cho các thành phần phổ sóng lan truyền theo các hướng (300 s) và iv) Bước thời gian cho tích phân các hàm nguồn (100 s).

Bảng 1. Thời gian chạy mô phỏng cho 3 cơn bão bằng mô hình WW3

Tên bão	Thời gian bắt đầu (yyyy-mm-dd hh:mm:ss)	Thời gian kết thúc (yyyy-mm-dd hh:mm:ss)
Damrey	2005-09-15 00:00:00	2005-09-30 00:00:00
Ketsana	2009-09-15 00:00:00	2009-09-30 00:00:00
Haiyan	2013-11-01 00:00:00	2013-11-12 00:00:00



Hình 1. Địa hình miền tính khu vực Biển Đông trong mô hình WW3 từ cơ sở dữ liệu ETOPO-1

SỐ LIỆU ĐẦU VÀO

Số liệu gió

Số liệu gió sử dụng trong mô hình được lấy từ cơ sở dữ liệu gió tái phân tích ở độ cao 10 m so với mặt nước biển. Climate Forecast System Reanalysis (CFSR, <https://rda.ucar.edu/datasets/ds094.0/>) của Trung tâm Quốc gia Dự báo Môi trường (NCEP - Hoa Kỳ). Độ phân giải thời gian là 6 h và độ phân giải không gian là $0,312^\circ \times 0,312^\circ$ cho số liệu trước năm 2011 và $0,205^\circ \times 0,204^\circ$ cho số liệu sau năm 2011 (CFSv2). Số liệu trường gió sau đó sẽ được nội suy về lưới tính của mô hình. Độ dài của chuỗi số liệu trường gió được lấy cùng với thời gian chạy và kết thúc của từng cơn bão trong nghiên cứu này.

Số liệu sóng vệ tinh

Số liệu sóng vệ tinh lấy từ cơ sở dữ liệu đo cao của Ifremer (Pháp, <http://globwave.ifremer.fr>). Số liệu sóng tại đây đã được hiệu chỉnh và xử lý từ tập hợp 10 vệ tinh có quỹ đạo, chu kỳ và thời gian hoạt động khác nhau gồm: ERS-1 (Sat1), ERS-2 (Sat2), Envisat (Sat3), Topex (Sat4), Poseidon (Sat5), Jason-1 (Sat6), GFO (Sat7), Jason-2 (Sat8), Cryosat (Sat9) và SARAL (Sat10). Để so sánh với kết quả từ mô hình, dữ liệu sóng vệ tinh được xử lý đồng bộ

cả về không gian (dọc theo vết quỹ đạo - along track) và thời gian (thời điểm vệ tinh đi qua khu vực Biển Đông và có dữ liệu dọc theo vết quỹ đạo).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

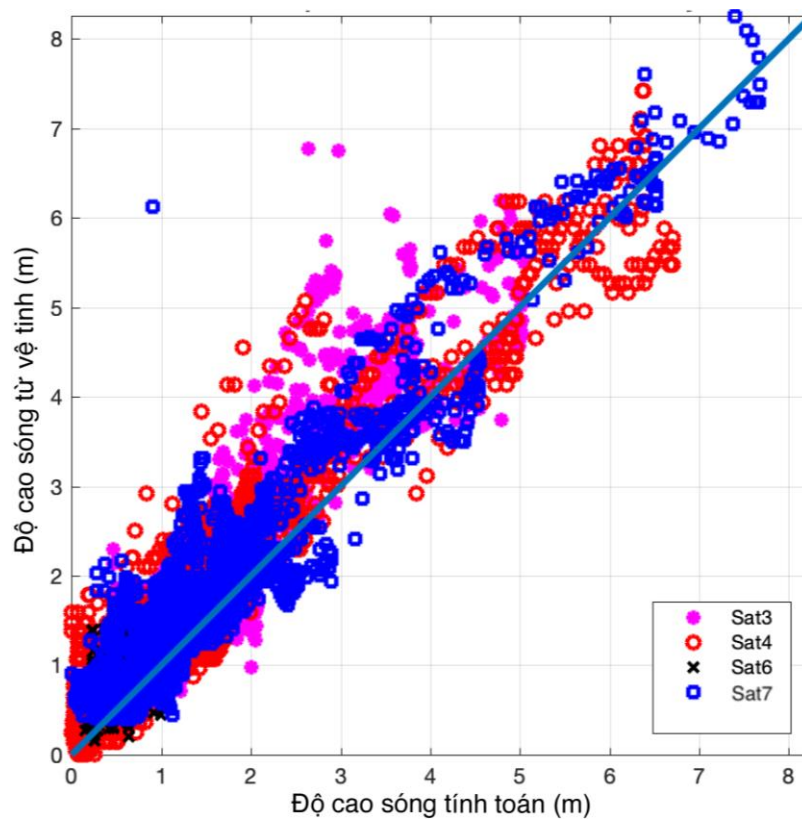
Kết quả đánh giá các chỉ số BIAS và RMSE cũng như hệ số tương quan cho cả 3 cơn bão được thể hiện trong bảng 2. Lưu ý là số vệ tinh hoạt động trong thời gian chạy mô phỏng cho từng cơn bão là khác nhau và được liệt kê cụ thể trong bảng 2.

Kết quả kiểm nghiệm giữa mô hình và vệ tinh trong bão Damrey (2005)

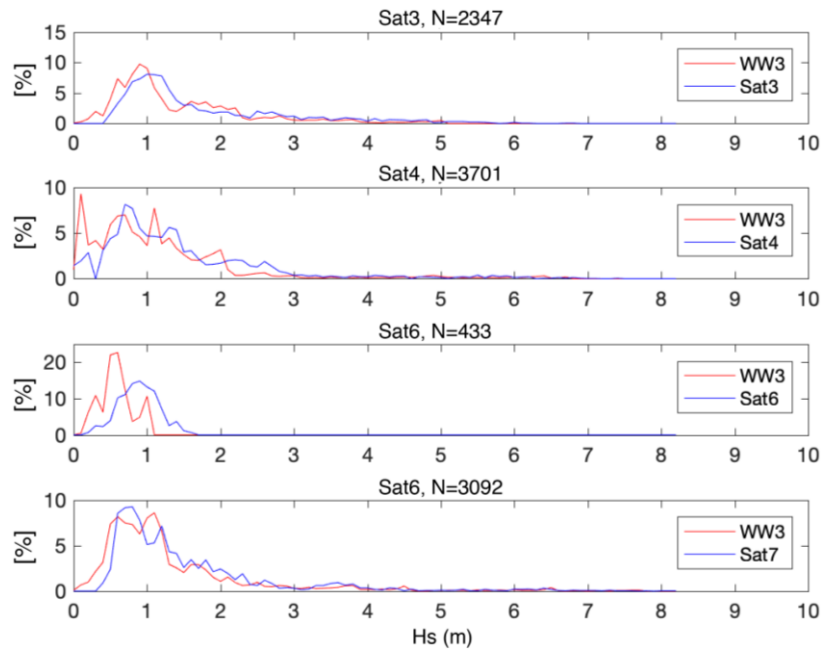
Trong thời gian mô phỏng bão Damrey có 4 vệ tinh hoạt động trên Biển Đông gồm: Sat3, Sat4, Sat6 và Sat7 (bảng 2). Từ các hình 2–4 cho thấy độ cao sóng lớn nhất trong bão Damrey vượt trên 8 m. Sai số BIAS dao động trong khoảng từ -0,20 m đến -0,35 m, đạt trung bình -0,28 m. Giá trị âm của BIAS cho thấy kết quả tính từ mô hình WW3 là thiên thấp so với số liệu sóng vệ tinh. Biểu đồ thống kê (hình 5) cho thấy khoảng sai khác nhiều nhất giữa mô hình và vệ tinh là từ -0,5 m đến 0 m (chiếm khoảng 20–25%).

Bảng 2. Bảng kết quả thống kê so sánh giữa mô hình và vệ tinh

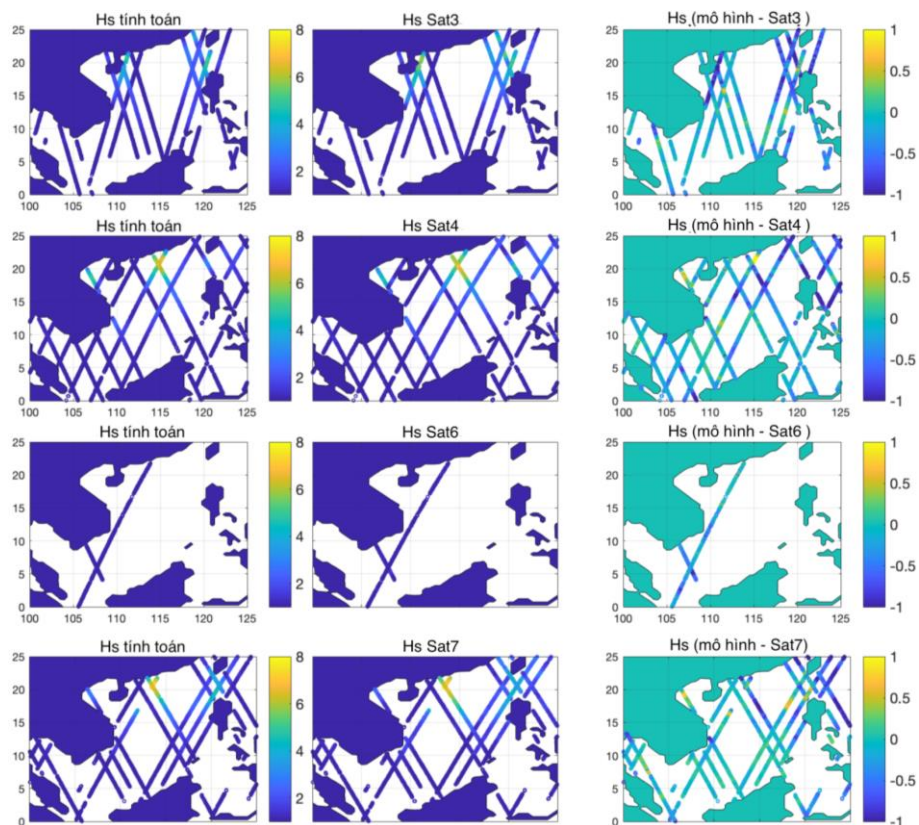
Số liệu	Sai số		Hệ số tương quan r
	BIAS (m)	RMSE (m)	
Bão Damrey			
WW3 - Sat 3	-0,35	0,58	0,92
WW3 - Sat 4	-0,26	0,48	0,95
WW3 - Sat 6	-0,30	0,42	0,51
WW3 - Sat 7	-0,20	0,45	0,96
<i>Trung bình</i>	<i>-0,28</i>	<i>0,48</i>	<i>0,84</i>
Bão Ketsana			
WW3 - Sat 2	-0,29	1,00	0,95
WW3 - Sat 3	-0,19	0,86	0,95
WW3 - Sat 6	-0,15	0,83	0,94
WW3 - Sat 8	-0,28	0,59	0,96
<i>Trung bình</i>	<i>-0,23</i>	<i>0,82</i>	<i>0,95</i>
Bão Haiyan			
WW3 - Sat 8	-0,42	0,76	0,86
WW3 - Sat 9	-0,30	0,64	0,88
WW3 - Sat 10	-0,32	0,79	0,87
<i>Trung bình</i>	<i>-0,35</i>	<i>0,73</i>	<i>0,87</i>



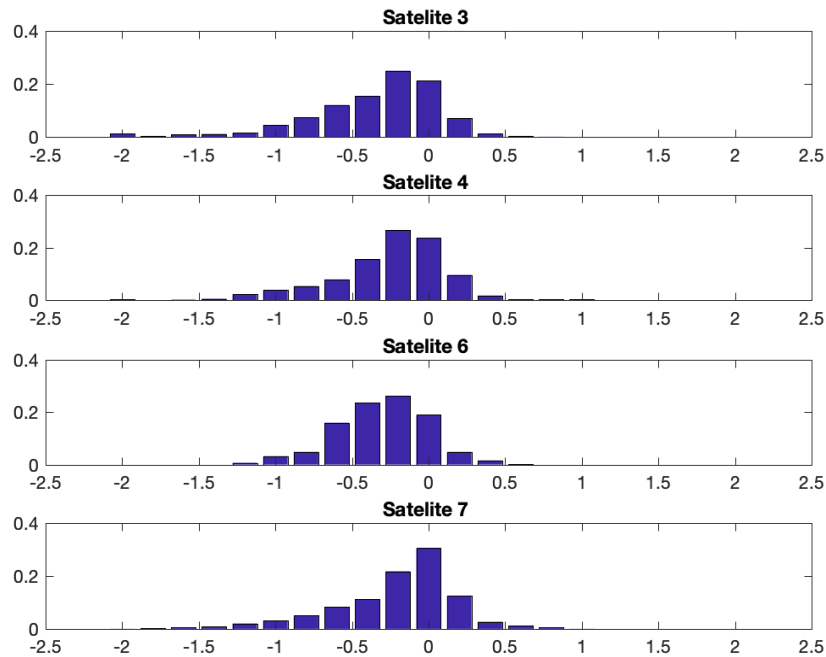
Hình 2. Biểu đồ tán xạ (scatter plot) thể hiện tương quan giữa số liệu sóng tính toán và sóng vệ tinh trong bão Damrey (2005)



Hình 3. Tỷ lệ độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh theo giá trị trong bão Damrey



Hình 4. So sánh kết quả tính sóng (m) từ mô hình WW3 với số liệu sóng vệ tinh dọc theo vết quỹ đạo trong cơn bão Damrey (2005)



Hình 5. Biểu đồ thống kê độ chênh lệch độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh trong bão Damrey (2005)

Sai số RMSE khá tương đồng khi so sánh với cả 4 vệ tinh (từ 0,42 m đến 0,58 m, trung bình 0,48 m). Trong khi đó, hệ số tương quan có sự khác biệt lớn giữa Sat6 với các vệ tinh còn lại. Hệ số tương quan giữa kết quả tính sóng từ mô hình với vệ tinh Sat6 chỉ đạt 0,51 so với 0,92; 0,95 và 0,96 của Sat3, Sat4 và Sat7.

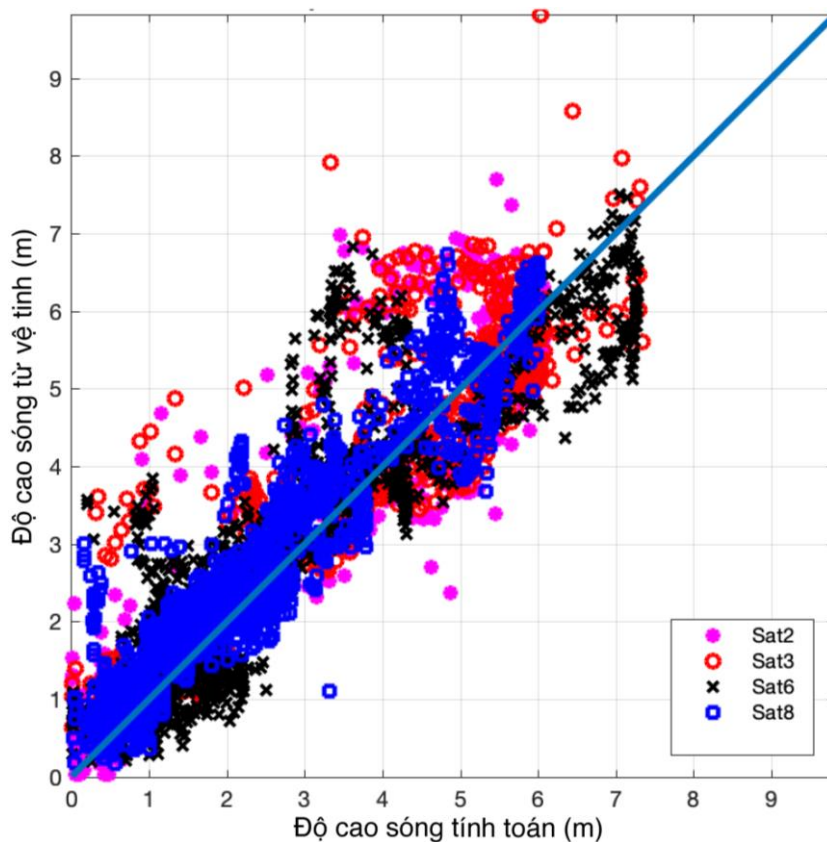
Hệ số tương quan của Sat6 với mô hình WW3 có thể được giải thích bởi số lượng giá trị so sánh là ít nhất so với 3 vệ tinh còn lại ($N = 433$) hơn nữa có sự chênh lệch lớn ở tỉ lệ độ cao sóng dưới 1 m giữa WW3 và vệ tinh Sat6 (hình 3). Tuy nhiên, hệ số tương quan của 3 vệ tinh Sat3, Sat4 và Sat7 với mô hình là rất tốt khi đều đạt trên 0,9.

Biểu đồ tán xạ (hình 2) cho thấy mức độ tập trung tốt giữa kết quả tính từ mô hình và số liệu vệ tinh. Điều này thể hiện tương quan tốt giữa hai bộ số liệu được sử dụng đồng thời cho thấy độ chính xác cao của mô hình WW3 trong mô phỏng trường sóng trong bão Damrey.

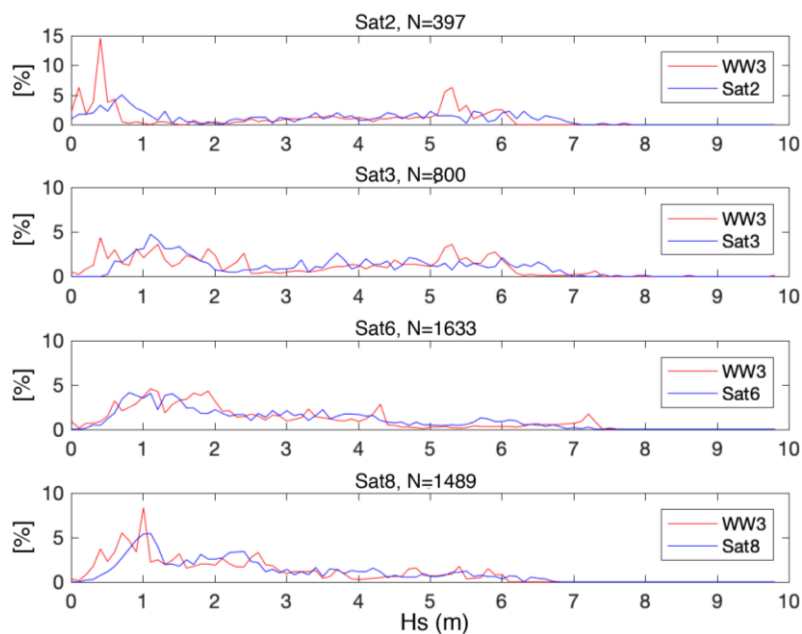
Kết quả kiểm nghiệm giữa mô hình và vệ tinh trong bão Ketsana (2009)

Tương tự như mô phỏng trong cơn bão Damrey (2005), kết quả tính toán trường sóng trong bão Ketsana (2009) cũng cho kết quả

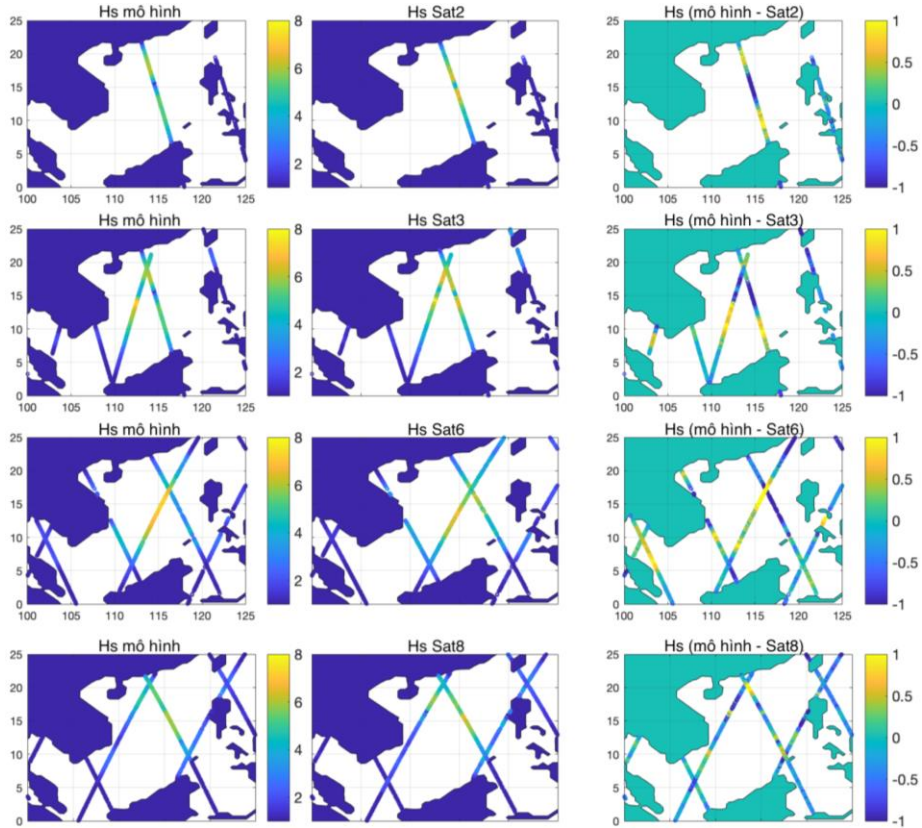
thiên thấp so với số liệu sóng vệ tinh. Độ cao sóng lớn nhất trong bão Ketsana đạt xấp xỉ 10 m. Chỉ số BIAS thấp hơn một chút trong bão Damrey và dao động trong khoảng từ -0,15 m đến -0,29 m, trung bình đạt -0,23 m. Hệ số tương quan giữa mô hình và vệ tinh rất tốt (giá trị trung bình đạt 0,95) và đồng đều ở cả 4 vệ tinh Sat2, Sat3, Sat6 và Sat7 (bảng 2). Tương quan chung giữa mô hình và vệ tinh được thể hiện rõ nét ở trong biểu đồ tán xạ ngoại trừ một số giá trị sóng cực trị xuất hiện ở Sat3 (hình 6). Tuy nhiên chỉ số RMSE lại khá cao với giá trị trung bình lên tới 0,82 m, thậm chí RMSE của Sat2 lên tới 1 m. Sự khác biệt lớn này được thể hiện rõ ở hình 6, 7 và 9. Có thể thấy trong bão Ketsana, chênh lệch độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh xuất hiện nhiều ở các giá trị sóng trên 4 m. Độ cao sóng mô phỏng từ mô hình WW3 chỉ đạt xấp xỉ 8 m trong khi số liệu sóng vệ tinh ghi nhận gần 10 m (hình 6 và 7). Ngoại trừ Sat8, 3 vệ tinh còn lại đều cho thấy các khoảng giá trị chênh lệch độ cao sóng nhiều hơn hẳn so với trong bão Damrey, thậm chí khoảng sai lệch 2 m là rất đáng kể (từ 5–8%) nhất là ở Sat2 (hình 9), cũng là vệ tinh có chỉ số RMSE cao nhất.



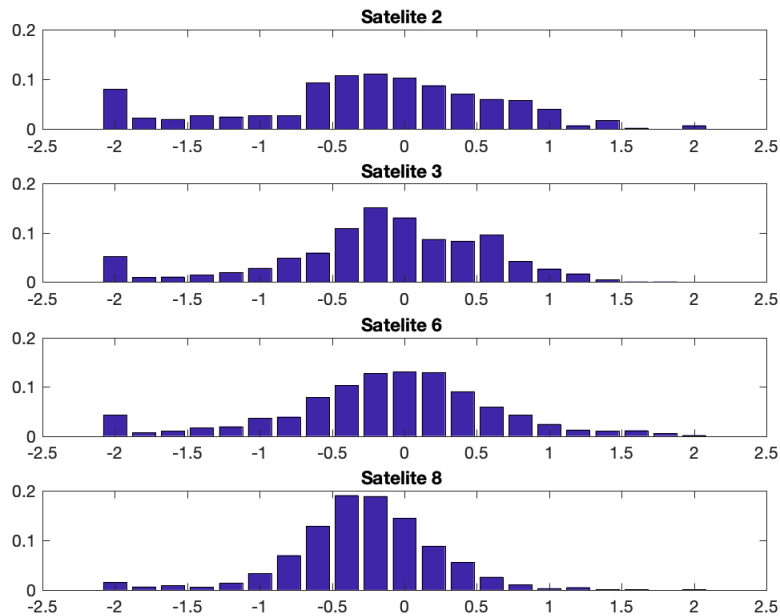
Hình 6. Biểu đồ tán xạ (scatter plot) thể hiện tương quan giữa số liệu sóng tính toán và sóng vệ tinh trong bão Ketsana (2009)



Hình 7. Tỷ lệ độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh theo giá trị trong bão Ketsana



Hình 8. So sánh kết quả tính sóng từ mô hình WW3 với số liệu sóng vệ tinh dọc theo track trong cơn bão Ketsana (2009)



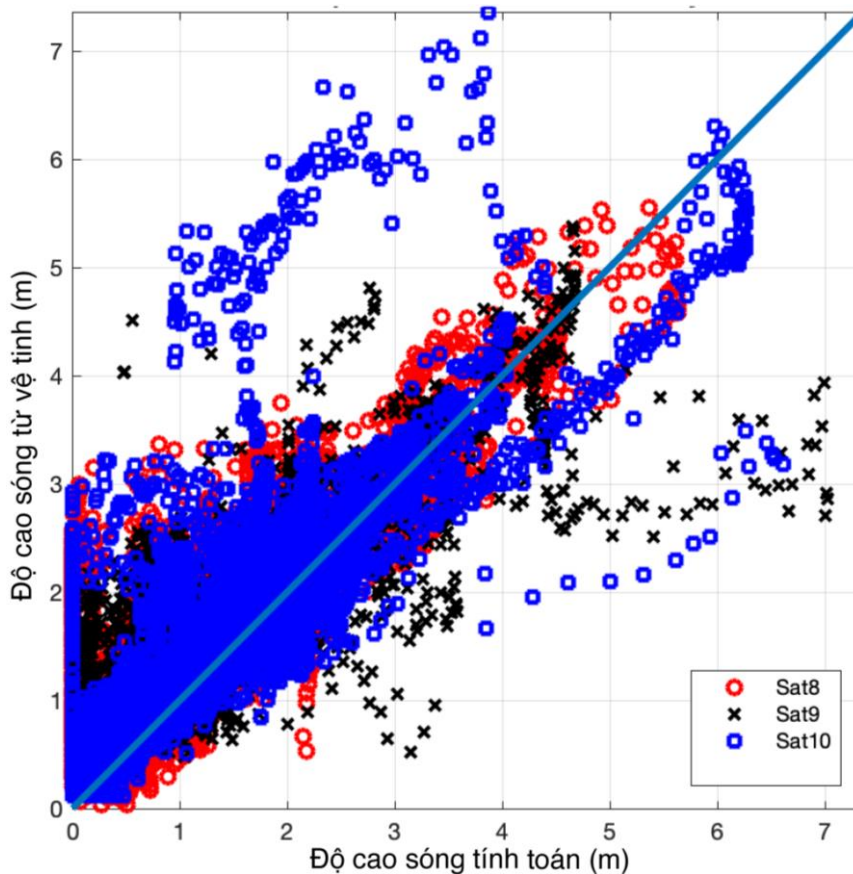
Hình 9. Biểu đồ thống kê độ chênh lệch độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh trong bão Ketsana (2009)

Tuy nhiên, cần lưu ý rằng sự chênh lệch lớn ở chỉ số RMSE trong bão Ketsana có thể được giải thích do số lượng điểm có giá trị sóng dọc theo vết quỹ đạo của các vệ tinh là ít hơn đáng kể so với trong bão Damrey (hình 8). Do đó, khoảng giá trị chênh lệch độ cao sóng lớn (ví dụ -2 m) có thể chiếm một tỷ lệ khá lớn so với tổng số giá trị được so sánh.

Kết quả kiểm nghiệm giữa mô hình và vệ tinh trong bão Haiyan (2013)

Trong thời gian mô phỏng bão Haiyan chỉ có 3 vệ tinh hoạt động trong khu vực nghiên cứu gồm: Sat8, Sat9 và Sat10. Cho dù được

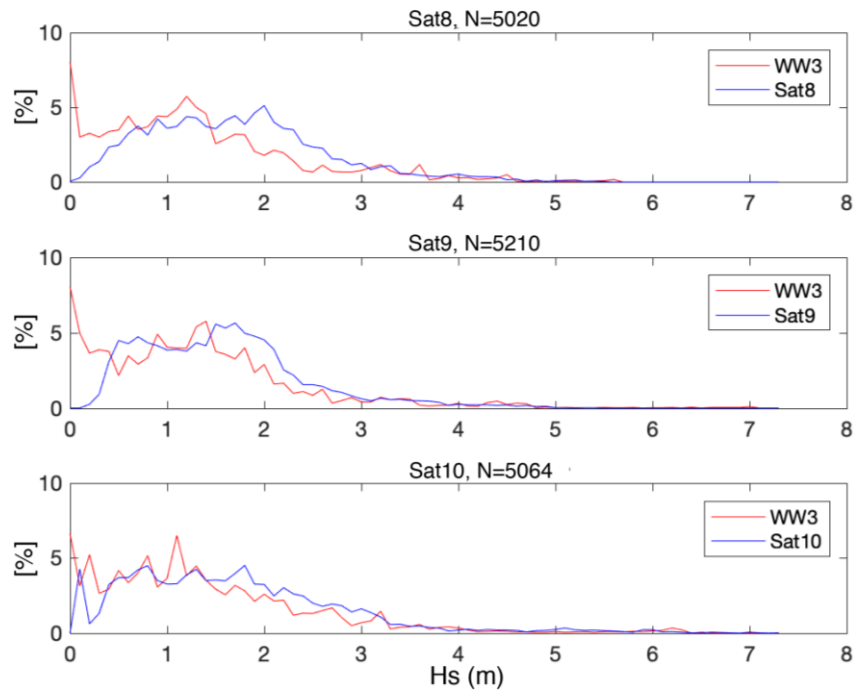
đánh giá là một cơn bão rất mạnh nhưng khi đi vào Biển Đông, bão Haiyan chỉ gây ra sóng với độ cao cực đại vào khoảng trên 7 m (hình 10, 11 và 12). Từ bảng 2, chỉ số BIAS tiếp tục cho thấy kết quả tính từ mô hình WW3 thiên thấp so với số liệu vệ tinh (giá trị trung bình đạt -0,35 m). Chỉ số RMSE giảm đôi chút so với trong bão Ketsana (giá trị trung bình đạt 0,73 m) và không có khác biệt quá lớn giữa các vệ tinh. Tương tự hệ số tương quan cũng rất tương đồng nhưng giá trị của hệ số tương quan tại mỗi vệ tinh nhìn chung thấp hơn trong hai trường hợp bão Ketsana và Damrey (trung bình đạt 0,87).



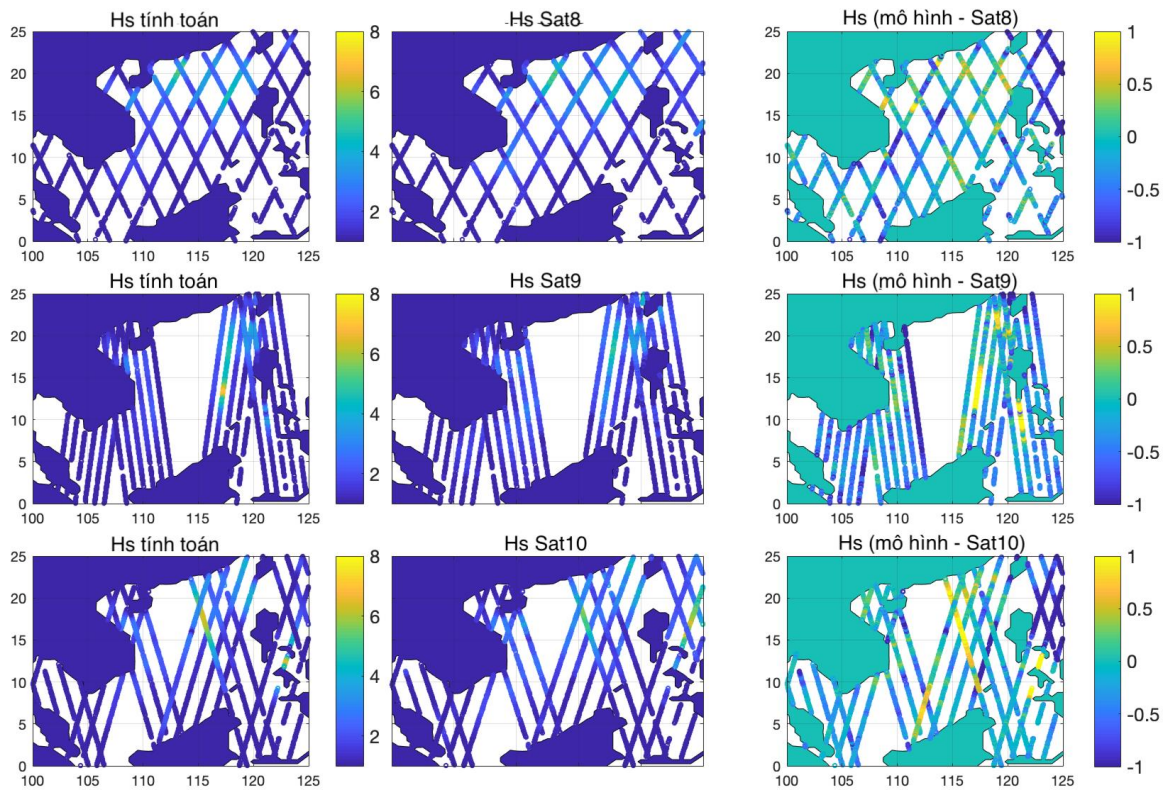
Hình 10. Biểu đồ tán xạ (scatter plot) thể hiện tương quan giữa số liệu sóng tính toán và sóng vệ tinh trong bão Haiyan (2013)

Biểu đồ tán xạ trong bão Haiyan (hình 10) cho thấy mức độ phân tán khá cao so với trong bão Damrey (hình 2) và Ketsana (hình 6). Sat9 và Sat10 có mức độ phân tán cao hơn cả đặc biệt là ở các giá trị sóng lớn. Tổ chức đồ thể

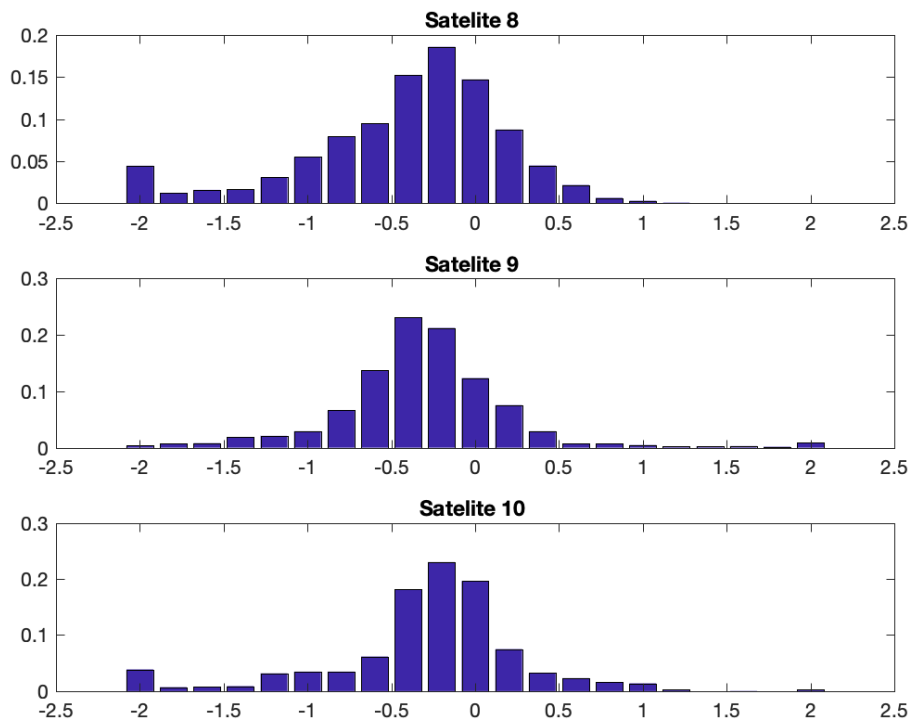
hiện các khoảng chênh lệch giá trị sóng từ mô hình so với vệ tinh chủ yếu trong khoảng -0,5 m đến 0 m tuy nhiên lại chiếm tỉ lệ khá lớn (trên 15% đối với Sat8, trên 20% đối với Sat9 và Sat10).



Hình 11. Tỷ lệ độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh theo giá trị trong bão Haiyan



Hình 12. So sánh kết quả tính sóng từ mô hình WW3 với số liệu sóng vệ tinh dọc theo track trong cơn bão Haiyan (2013)



Hình 13. Biểu đồ thống kê độ chênh lệch độ cao sóng giữa mô hình và vệ tinh trong bão Haiyan (2013)

Nhận xét chung

Qua kết quả ở trên có thể rút ra một số nhận xét chung như sau:

Trường sóng trong bão tính bằng mô hình WW3 cho kết quả khá tốt thể hiện ở sai số BIAS khá nhỏ (trung bình từ -0,2 m đến -0,3 m). Sai số RMSE có lớn hơn nhưng cũng dao động trong khoảng 0,5 m đến 0,7 m, giá trị có thể chấp nhận được trong mô phỏng trường sóng trong bão. Kết quả cao hơn so với nghiên cứu của Chu et al., (2004) khi thử nghiệm mô hình WW3 cho khu vực Biển Đông. Trong nghiên cứu trên, các tác giả ngoài việc thử nghiệm trong 2 giai đoạn có gió mùa còn tính sóng trong bão Rumbia (2000). Các giá trị sai số trong bão Rumbia vào khoảng $\sim < 0,1$ m cho BIAS và $\sim 0,4$ m cho RMSE. Tuy nhiên cần lưu ý là cơn bão Rumbia trong nghiên cứu của Chu et al., (2004) không phải là bão mạnh, xuất hiện rất muộn và chủ yếu hoạt động ở phía nam Biển Đông. Do đó, độ cao sóng cực đại chỉ đạt từ 4 m đến 5 m. Vì vậy, kết quả mô phỏng trường sóng trong 3 cơn bão mạnh đến rất mạnh (Damrey, Ketsana và Haiyan) trong bài báo này đã được trình bày ở trên là hết sức khả quan.

Kết quả trong nghiên cứu cho thấy, trong cả 3 trường hợp giá trị sóng từ mô hình luôn thiên thấp so với số liệu vệ tinh thể hiện qua sai số BIAS luôn đạt giá trị âm (bảng 2). Độ cao sóng tính từ mô hình thấp hơn số liệu đo đạc cũng được ghi nhận trong một số nghiên cứu sử dụng mô hình WW3 tính sóng trong bão của Zhou et al., (2008) [4] và Shao et al., (2018) [9]. Trong nghiên cứu của Zhou et al., (2008) [4] các tác giả cũng đã mô phỏng trường sóng trong bão Damrey gần khu vực đảo Hải Nam. Giá trị sai số RMSE khi so sánh với số liệu từ phao nổi còn đạt tới 0,8 m so với giá trị trung bình 0,48 m trong bài báo này. Sự khác biệt đáng kể này có thể do khác biệt về trường gió đầu vào sử dụng trong hai nghiên cứu. Trong khi Zhou et al., (2008) sử dụng số liệu gió từ QuickSCAT thì trường gió trong bài báo này đến từ CFSR cho dù độ phân giải không gian và thời gian là tương tự nhau. Ngoài ra, để cải thiện độ chính xác của mô hình, Sharifi et al., (2017) [10] cho rằng chênh lệch giữa nhiệt độ không khí và nhiệt độ bề mặt biển có thể là yếu tố quan trọng cần được lưu ý trong mô phỏng trường sóng trong bão bằng mô hình WW3.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, mô hình WW3 đã được sử dụng để mô phỏng trường sóng trong 3 cơn bão trên khu vực Biển Đông: Damrey, Ketsana và Haiyan. Kết quả tính toán được kiểm nghiệm với số liệu sóng từ vệ tinh cho sai số hoàn toàn chấp nhận được cùng với tương quan rất tốt giữa hai bộ số liệu. Tuy nhiên, kết quả tính sóng từ mô hình WW3 trong nghiên cứu này cho giá trị thiên thấp so với số liệu vệ tinh, phần nhiều ở những giá trị sóng lớn. Để nâng cao hơn nữa độ chính xác của mô hình WW3 trong tính toán sóng trong bão, những thử nghiệm đầy đủ hơn trong tương lai cần được tiến hành như phân tích về phổ hướng sóng và chu kỳ sóng đối với từng cơn bão cụ thể; biến động của trường gió tại từng thời điểm hay độ chênh lệch giữa nhiệt độ bề mặt biển và không khí cũng cần phải được quan tâm. Dù vậy, với kết quả tốt đạt được trong nghiên cứu này, mô hình WW3 hoàn toàn có thể ứng dụng cho dự báo sóng trong điều kiện bão hoặc áp thấp nhiệt đới trên khu vực Biển Đông Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học tự nhiên trong đề tài mã số TN.18.18 “Nghiên cứu, kiểm chứng mô hình dự báo sóng trong bão sử dụng số liệu vệ tinh TOPEX/Poseidon”. Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến đề tài cũng như các ý kiến đóng góp của thầy, cô, các anh chị đồng nghiệp Khoa Khí tượng, Thủy văn và Hải dương học, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Mạnh Hùng, Tăng Đức Thắng, Nguyễn Duy Khang. Kiểm nghiệm việc sử dụng mô hình Mike 21 SW FM mô phỏng chế độ sóng Biển Đông. *Tạp chí điện tử Khoa học Công nghệ Thủy Lợi, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam*.
- [2] Lê Thanh Chương, Nguyễn Duy Khang, Lê Mạnh Hùng. Kết quả tính sóng, nước dâng do bão vùng ven Biển Đông đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí điện tử Khoa học Công nghệ Thủy Lợi, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam*.
- [3] Chu, P. C., Qi, Y., Chen, Y., Shi, P., and Mao, Q., 2004. South China sea wind-wave characteristics. part I: validation of WAVEWATCH-III using TOPEX/Poseidon data. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 21(11), 1718–1733. <https://doi.org/10.1175/JTECH1661.1>
- [4] Zhou, L. M., Wang, A. F., and Guo, P. F., 2008. Numerical simulation of sea surface directional wave spectra under typhoon wind forcing. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 20(6), 776–783. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(09\)60015-9](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(09)60015-9)
- [5] Su, H., Wei, C., Jiang, S., Li, P., and Zhai, F., 2017. Revisiting the seasonal wave height variability in the South China Sea with merged satellite altimetry observations. *Acta Oceanologica Sinica*, 36(11), 38–50. <https://doi.org/10.1007/s13131-017-1073-4>
- [6] Tolman, H. L. (1998). Validation of NCEP's ocean winds for the use in wind wave models. *The Global Atmosphere and Ocean System*, 6(3), 243–268.
- [7] Tolman, H. L., and Alves, J. H. G., 2005. Numerical modeling of wind waves generated by tropical cyclones using moving grids. *Ocean Modelling*, 9(4), 305–323. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2004.09.003>
- [8] Tolman, H. L., 2009. User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. *Technical note, MMAB Contribution*, 276, 220.
- [9] Shao, W., Sheng, Y., Li, H., Shi, J., Ji, Q., Tan, W., and Zuo, J., 2018. Analysis of wave distribution simulated by WAVEWATCH-III model in typhoons passing Beibu Gulf, China. *Atmosphere*, 9(7), 265. <https://doi.org/10.3390/atmos9070265>
- [10] Sharifi, F. S., Ezam, M., and Karami Khaniki, A., 2012. Evaluating the results of Hormuz strait wave simulations using WAVEWATCH-III and MIKE21-SW. *International Journal of Marine Science and Engineering*, 2(2), 163–170.