

Bài báo khoa học

Ứng dụng bộ công cụ DNORA dự báo sóng tại vùng biển Nam Trung Bộ: Áp dụng thí điểm mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017

Nguyễn Thị Hiền¹, Trần Văn Hưng^{1*}, Phùng Thị Vui¹

¹ Đài Khí tượng thủy văn khu vực Nam Trung Bộ; hiennt22992@gmail.com;
tranhungdubao@gmail.com; phungthivui@gmail.com

*Tác giả liên hệ: tranhungdubao@gmail.com; Tel.: +84–904491015

Ban Biên tập nhận bài: 5/4/2024; Ngày phản biện xong: 9/5/2024; Ngày đăng bài: 25/10/2024

Tóm tắt: Sóng biển là yếu tố có vai trò và ý nghĩa quan trọng ảnh hưởng đến các hoạt động kinh tế xã hội (KT-XH) trên biển và vùng ven bờ. Dự báo sóng biển một cách chính xác, đặc biệt là sóng lớn trong bão sẽ giảm thiểu rủi ro về người cũng như thiệt hại về kinh tế. Hiện nay, đổi mới công nghệ dự báo khí tượng thủy văn (KTTV) nói chung và dự báo hải văn nói riêng của ngành KTTV đang là hướng đi đúng đắn để nâng cao chất lượng dự báo. Bộ công cụ DNORA là một công nghệ được Viện Khí tượng Na Uy chuyển giao cho Tổng cục KTTV trong thời gian gần đây. Trong nghiên cứu này, nhóm thực hiện giới thiệu về bộ công cụ DNORA và một số kết quả ứng dụng DNORA mô phỏng sóng trong bão Damrey năm 2017. Kết quả cho thấy, độ cao sóng mô phỏng có xu hướng cao hơn thực đo và chỉ số đánh giá RMSE dao động từ 0,67-0,75 m.

Từ khóa: Bão Damrey; Sóng biển; DNORA.

1. Giới thiệu

Việt Nam có đường bờ biển dài hơn 3200 km và vùng biển Đông rộng lớn với 28 tỉnh thành phố giáp biển, vì vậy kinh tế biển rất có tiềm năng phát triển từ hoạt động đánh bắt, khai thác thủy sản đến hoạt động hàng hải, dầu khí,... Một trong những yếu tố biển được quan tâm và có ảnh hưởng lớn đến các hoạt động trên biển chính là độ cao sóng biển. Do đó, độ cao sóng biển đã được quan tâm nghiên cứu và dự báo từ lâu. Hiện nay, ở nước ta, dự báo sóng biển thường được tham khảo từ mô hình số trị, như tại Trung tâm KTTV Quốc gia tiến hành chạy mô hình SWAN tất định để dự báo nghiệp vụ hàng ngày, hoặc xây dựng mô hình dự báo sóng tổ hợp dựa trên mô hình SWAN với trường gió đầu vào từ hệ thống tổ hợp 50 thành phần của ECMWF [1].

Vùng biển Nam Trung Bộ bao gồm khu vực biển từ Bình Định đến Bình Thuận và khu vực quần đảo Trường Sa, là nơi có nhiều hoạt động KT-XH, du lịch ở ven biển và nằm trong ngư trường trọng điểm của cả nước. Chính vì vậy, dự báo sóng biển có ý nghĩa quan trọng phục vụ các hoạt động KT-XH ven bờ và trên biển cũng như trong công tác phòng chống thiên tai trong điều kiện có thời tiết nguy hiểm trên biển. Trong khuôn khổ hợp tác giữa Tổng cục KTTV Việt Nam với Viện Khí tượng Na Uy, Viện Khí tượng Na Uy đã chuyển giao công nghệ dự báo biển cho Đài KTTV Nam Trung Bộ gồm các mô hình SWAN, ROMS 3D, Open Drift và gần đây là bộ công cụ dự báo sóng DNORA. Các mô hình này đã và đang được vận hành tại Đài để đưa ra những sản phẩm dự báo hữu ích trong công tác dự báo hải văn.

Bộ công cụ DNORA là một gói mã nguồn mở được phát triển tại MET-OM [2] và đã được ứng dụng trong nhiều nghiên cứu. Trong nghiên cứu [3] sử dụng DNORA với mô hình

SWAN sử dụng đầu vào sóng, gió NORA3 gồm 343×223 bước lưới, độ phân giải 100 m như là mô hình phân giải cao mô phỏng sóng khu vực Forhavet để ước tính trạng thái mặt biển để so sánh với số liệu quan trắc. Để mô phỏng hay dự báo sóng độ phân giải cao thường sử dụng mô hình sóng có thể mô phỏng chính xác sự lan truyền sóng ở vùng nước sâu và nông. Chúng ta có thể sử dụng mô hình trung bình pha để mô phỏng sự tạo ra và lan truyền sóng quy mô lớn chẳng hạn vùng ngoài khơi và ven bờ. Các mô hình trung bình pha được sử dụng phổ biến nhất hiện nay được gọi là mô hình sóng thể hệ thứ ba, ba mô hình sử dụng rộng rãi nhất trên thế giới là Wave Watch III (WW3) [4], WAM [5] và SWAN [6]. Mô hình sóng thể hệ thứ ba mô tả sự lan truyền phổ sóng không gian - thời gian sử dụng mật độ năng lượng sóng trong phương trình cân bằng bảo toàn, bao gồm cả quá trình tạo sóng do gió. Trong số ba mô hình này, mô hình SWAN là mô hình duy nhất được thiết kế đặc biệt để ghi lại sự lan truyền sóng ở vùng nước sâu và nông, đặc biệt là đối với các khu vực ven biển. Ngoài ra, mô hình còn tính đến các hiện tượng vật lý như sự tiêu tán do ma sát đáy, sóng vỡ và tương tác sóng - sóng phi tuyến [7].

Trên vùng biển Nam Trung Bộ, hiện nay có 04 trạm khí tượng hải văn là trạm: Quy Nhơn - tỉnh Bình Định, trạm Phú Quý - tỉnh Bình Thuận, trạm Song Tử Tây và Trường Sa - tỉnh Khánh Hòa. Tuy nhiên, các trạm này chủ yếu quan trắc độ cao sóng biển theo cấp gió bão nên thường có những hạn chế về chất lượng số liệu và tần suất quan trắc gây khó khăn trong công tác phân tích trường sóng [8], đặc biệt là trong những điều kiện thời tiết nguy hiểm như gió mùa mạnh, bão và áp thấp nhiệt đới.

Bão Damrey 2017 là một trong những cơn bão mạnh nhất và gây ra nhiều thiệt hại về người và của cho 15 tỉnh thành miền Trung và Tây Nguyên trong 10 năm trở lại đây. Ngoài những thiệt hại về kinh tế, xã hội trên đất liền thì cũng gây ra những tổn thất nặng nề cho lĩnh vực ngư nghiệp, [9] ước tính có 4.4.70 ha nuôi tôm bị ngập và 38.360 lồng nuôi thủy sản bị cuốn trôi, có 1.809 tàu cá bị phá hủy trong đó chỉ có 35 tàu cá có công suất tải trên 90 mã lực được trả tiền bảo hiểm, còn lại hầu hết các tàu cá dưới 90 mã lực không có bảo hiểm.

Damrey là một cơn bão điển hình, đã được nhiều tác giả trong nước quan tâm nghiên cứu, từ việc xem xét đánh giá đặc điểm cơn bão [10], ứng dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy dự báo cường độ và phân tích cấu trúc bão [11] đến hướng dự báo tác động do gió mạnh và mưa lớn trong bão [12] hay các dự báo về trường độ cao sóng trong bão [13] và ảnh hưởng của địa hình đến phân bố sóng trong bão [14].

Bộ dữ liệu sóng tái phân tích toàn cầu ERA5 của ECMWF [15, 16] có từ năm 1940 đến nay với độ phân giải 0,5 độ, bộ số liệu này là quá thô để phân tích, hiển thị độ cao sóng cho vùng biển Đông, đặc biệt là những khu vực ven bờ, có nhiều đảo, địa hình phức tạp. Do đó, việc hạ độ phân giải có thể cung cấp những thông tin chi tiết hơn.

Trong nghiên cứu này, sử dụng số liệu gió tái phân tích ERA5 độ phân giải 0,25 độ và sóng tái phân tích ERA5 độ phân giải 0,5 độ với tần suất 01 giờ/số liệu làm đầu vào cho bộ công cụ DNORA để mô phỏng trường sóng từ 00h ngày 01/11 đến 23h ngày 04/11/2017. Kết quả mô phỏng trường sóng bằng bộ công cụ DNORA là một miếng ghép để hoàn thiện bức tranh phân tích về hệ quả mưa, gió, sóng lớn, nước dâng,...do bão gây ra nhằm góp phần phục vụ hiệu quả công tác giảm thiểu rủi ro do bão gây ra cho khu vực Nam Trung Bộ.

2. Số liệu, trường hợp thử nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Số liệu quan trắc: Số liệu quan trắc độ cao sóng biển từ 4 trạm Quy Nhơn, Song Tử Tây, Trường Sa và Phú Quý theo obs được thu thập từ ngày 01 đến ngày 04/11/2017.

Số liệu địa hình GEBCO: Dữ liệu địa hình năm 2021 là sản phẩm đo độ sâu toàn cầu thể hệ thứ 3 được phát hành thuộc dự án Hải đồ độ sâu chung của đại dương GEBCO, được phát triển thông qua dự án đáy biển 2030 hợp tác giữa Nippon Foundation, Nhật Bản và GEBCO. Độ phân giải ngang là 15 giây (khoảng 500 m), gồm 43.200 hàng và 86.400 cột, chứa

3.732.480.000 điểm dữ liệu. Các giá trị dữ liệu được lấy ở giữa ô lưới, thể hiện độ cao với đơn vị là mét. Lưới GEBCO được coi là tương đương với lưới WGS84 [17].

Số liệu sóng, gió tái phân tích ERA5: ERA5 là số liệu tái phân tích thế hệ thứ 5 của Trung tâm Dự báo hạn vừa Châu Âu (ECMWF) có từ năm 1940 tới nay. Bộ dữ liệu toàn cầu, độ phân giải ngang $0,25 \times 0,25$ độ kinh vĩ (cho dữ liệu gió) và $0,5 \times 0,5$ độ kinh vĩ (cho dữ liệu sóng), là bộ dữ liệu độ phân giải cao được sử dụng phổ biến nhất hiện nay. ERA5 có độ phân giải thời gian là 1 giờ [16, 18].

2.2. Trường hợp thử nghiệm

Damrey (số hiệu 1723) hình thành từ một áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) trên vùng biển phía đông Philippin vào lúc 00Z ngày 31/10/2017 và di chuyển về hướng tây (Hình 1). Sau khi vượt qua Philippin đi vào biển Đông, ATNĐ mạnh lên thành bão với cường độ đạt cấp 8 vào sáng ngày 02/11, trở thành cơn bão số 12 trong năm 2017. Bão số 12 đạt cường độ mạnh nhất với áp suất cực tiểu tại tâm đạt 970 hPa và vận tốc gió cực đại 35m/s, tương ứng với cấp 12, giật cấp 15 vào lúc 06Z ngày 03/11. Bão số 12 duy trì cường độ ổn định đến sáng ngày 04/11, đổ bộ vào các tỉnh Phú Yên - Khánh Hòa. Sau đó, bão số 12 suy yếu thành ATNĐ khi đi sang Campuchia vào tối cùng ngày và tan dần [19].



Hình 1. Quỹ đạo cơn bão số 12 - Damrey năm 2017 [19].

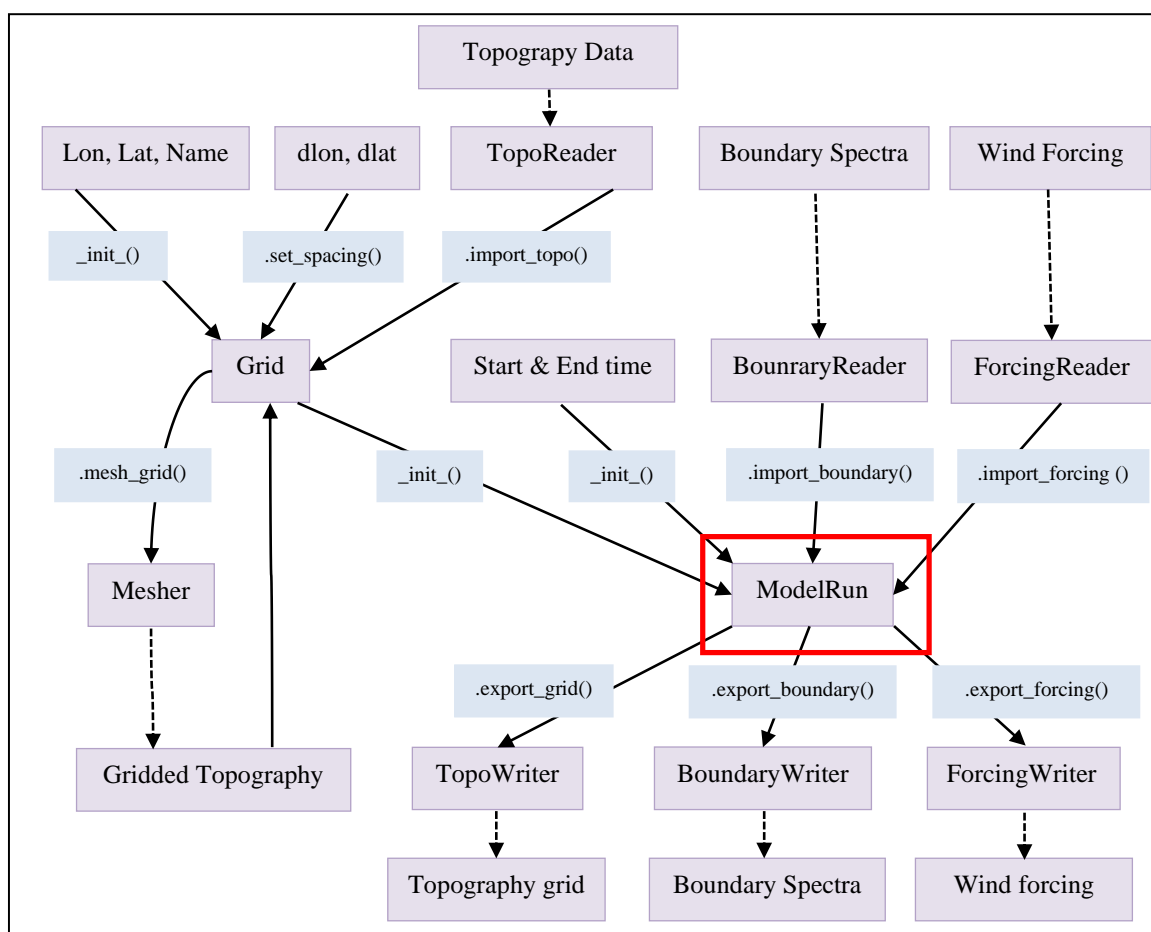
2.3. Phương pháp nghiên cứu

2.3.1. Bộ công cụ dự báo sóng DNORA

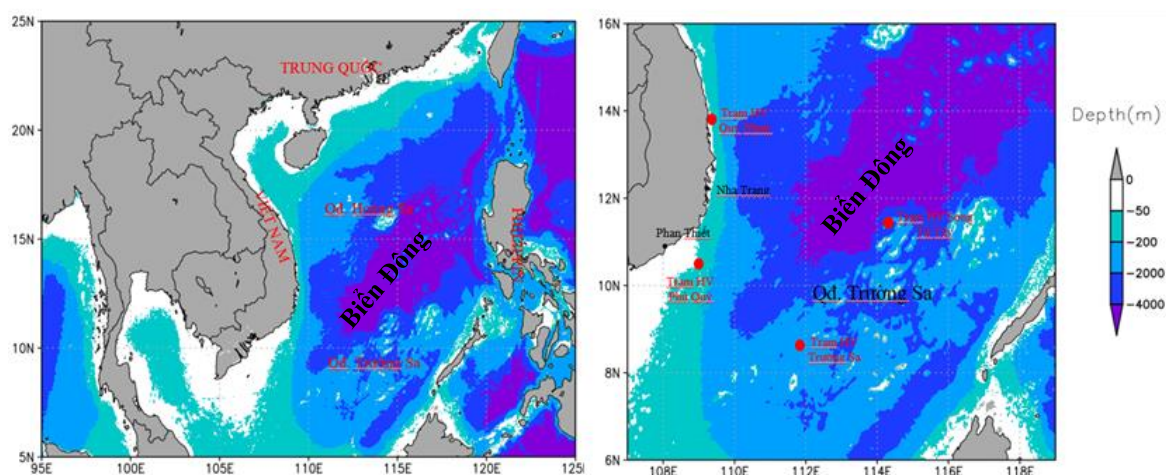
DNORA là một gói mã nguồn mở hạ độ phân giải của sóng toàn cầu bằng cách sử dụng các mô hình số trị. Các chức năng của DNORA bao gồm tạo lưới có độ phân giải cao bằng cách sử dụng bộ dữ liệu độ sâu, địa hình mã nguồn mở (Hình 2). Có thể tùy chọn các điều kiện biên sóng (dữ liệu NORA3, WAM4km, WW34km và ERA5) và điều kiện ban đầu gió (dữ liệu NORA3, MEPS, ERA5), đại dương (dữ liệu Norkyst800) và mực nước (dữ liệu GTSM_ERA5), từ đó tạo file tham số đầu vào cho các mô hình. Các mô hình sóng trong bộ công cụ có thể lựa chọn như SWAN, WW3, SWASH... [20].

2.3.2. Miền tính và lưới tính

Thí nghiệm được thiết kế với hai miền tính, miền tính 1 (kí hiệu D01) từ 5°N - 25°N ; 95°E - 125°E . Lưới tính được sử dụng là lưới vuông, độ phân giải $0,1 \times 0,1$ độ với 201×301 bước lưới, bao phủ toàn bộ biển Đông. Miền tính 2 (kí hiệu D01) từ 6°N - 16°N ; 107°E - 119°E , độ phân giải $0,0055 \times 0,0055$ độ (xấp xỉ 600×600 m), với 186×219 bước lưới, bao phủ vùng biển Nam Trung Bộ và phía tây quần đảo Trường Sa (Hình 3).



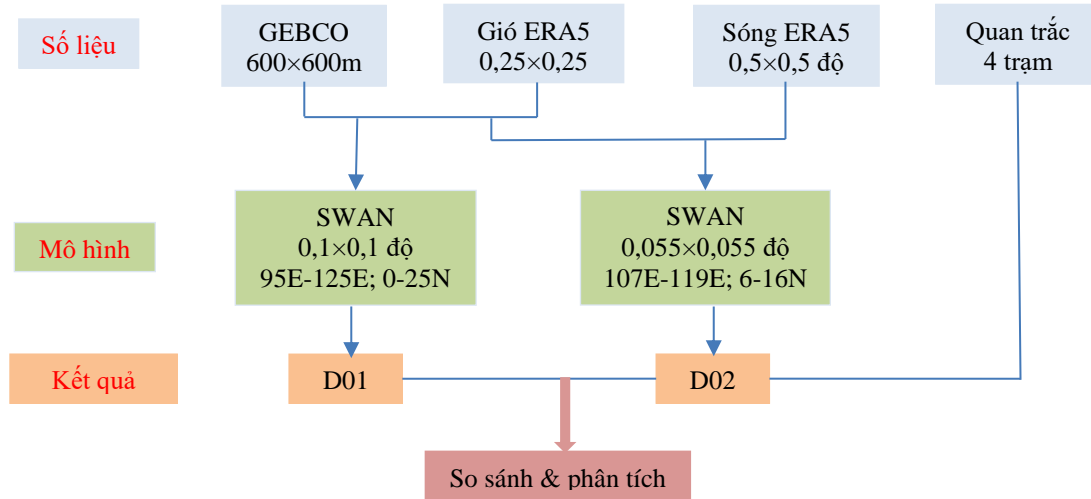
Hình 2. Cấu trúc sơ đồ của DNORA.



Hình 3. Trường đô sâu, miền tính D01 (trái) và vị trí các trạm hải văn sử dụng trong nghiên cứu D02 (phải).

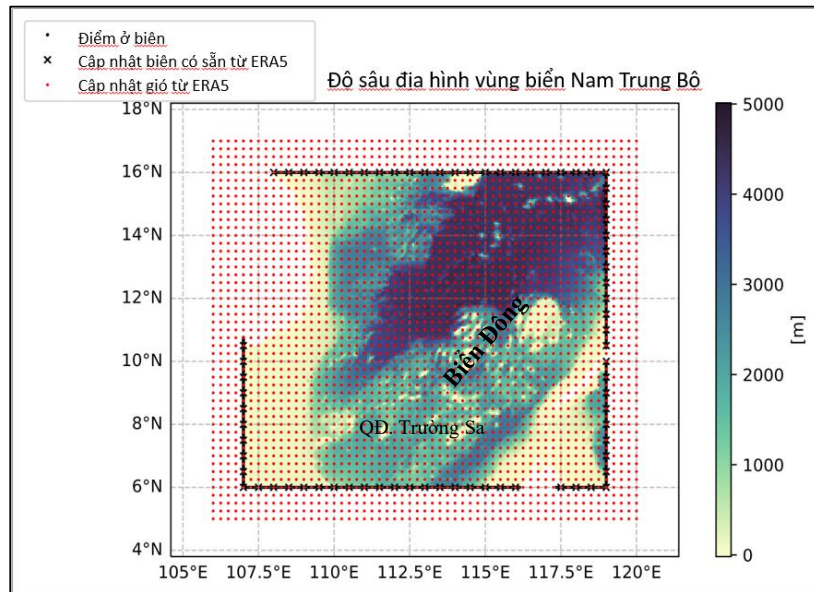
2.3.3. Thiết kế thí nghiệm

Sơ đồ thiết kế thí nghiệm mô phỏng được thể hiện trong hình 4. Các dữ liệu đầu vào được thu thập gồm dữ liệu địa hình, dữ liệu gió, sóng ERA5 và số liệu quan trắc. Trong đó, thí nghiệm ứng với miền tính D01 sử dụng dữ liệu địa hình và dữ liệu gió làm đầu vào. Thí nghiệm ứng với miền tính D02 sử dụng thêm bộ dữ liệu sóng làm điều kiện biên. Mô hình số trị được lựa chọn là mô hình sóng SWAN, kết quả được trích xuất về 4 trạm và so sánh với số liệu quan trắc, ngoài ra các kết quả trường sóng cũng được trích xuất để so sánh giữa hai thí nghiệm.



Hình 4. Sơ đồ thiết kế thí nghiệm mô phỏng.

SWAN (*Simulating Waves Nearshore*) là mô hình tính toán, dự báo sóng thể hệ thứ ba, tính toán phổ sóng hai chiều bằng cách giải phương trình cân bằng tác động sóng (trong trường hợp không có dòng chảy có thể dùng phương trình cân bằng năng lượng sóng) có tính tới sự lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông ven bờ, đồng thời trao đổi năng lượng với gió thông qua hàm nguồn cùng với sự tiêu tán năng lượng sóng [21].



Hình 5. Sơ đồ cập nhật trường sóng, gió cho thí nghiệm D02.

2.3.4. Phương pháp đánh giá

- Sai số trung bình (*Mean Error - ME*)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (1)$$

- Sai số quân phương (*Root Mean Quare Error - RMSE*)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (2)$$

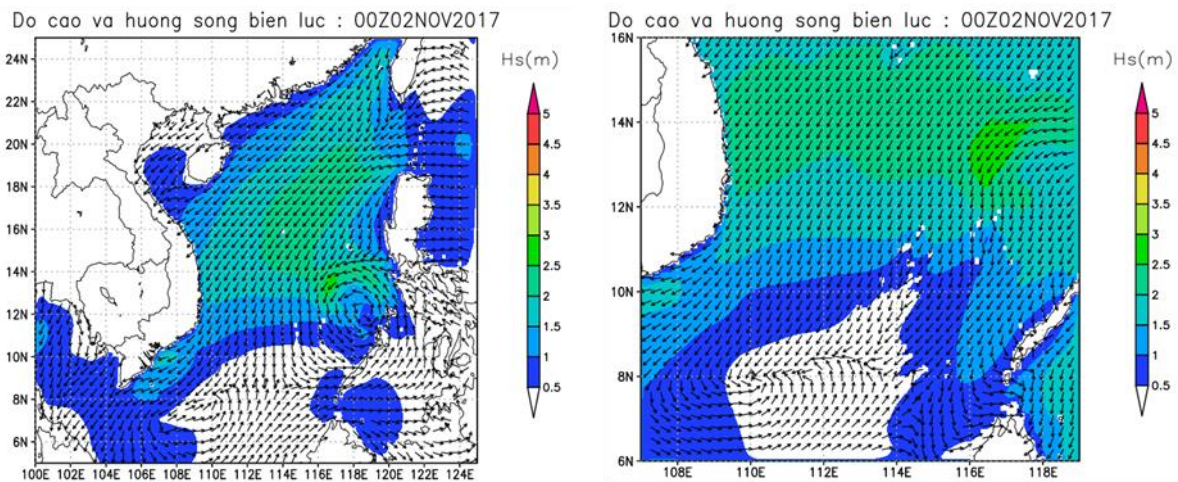
- Sai số trung bình tuyệt đối (*Mean Absolute Error - MAE*)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (3)$$

3. Kết quả và thảo luận

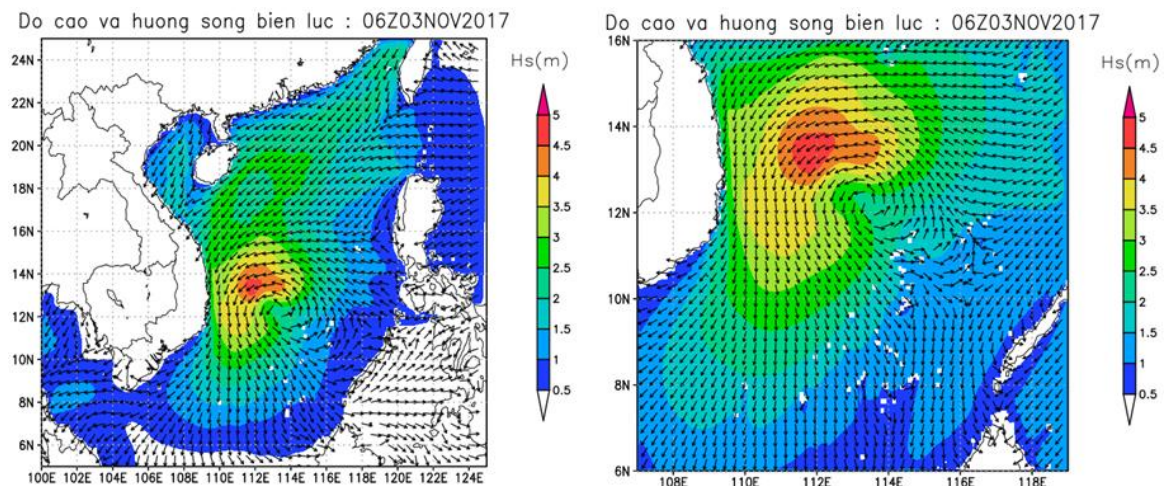
3.1. Kết quả mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017

Kết quả mô phỏng trường sóng trong bão Damrey năm 2017 được đưa ra trong các thời điểm ATNĐ mạnh lên thành bão, thời điểm bão đạt cường độ mạnh nhất, thời điểm trước khi bão đổ bộ vào bờ và thời điểm bão đổ bộ vào đất liền. Đầu tiên, tại thời điểm ATNĐ mạnh lên thành bão với cường độ cấp 8 vào lúc 00Z tức 07h ngày 02/11, kết quả mô phỏng trong thí nghiệm 01 độ cao sóng biển trên toàn bộ khu vực biển Đông phổ biến dưới 2,5 m, chỉ riêng một vùng nhỏ phía tây bắc tâm bão có độ cao sóng biển đạt từ 2,5-3,0 m. Trong khi đó, với thí nghiệm 02, kết quả mô phỏng độ cao sóng lớn hơn so với thí nghiệm 01, độ cao sóng 2,0-2,5 m bao phủ một vùng rộng lớn trong dải vĩ độ 12-14 vĩ độ bắc, thậm chí đã có vùng đạt đến độ cao sóng 3,0 m (Hình 6).



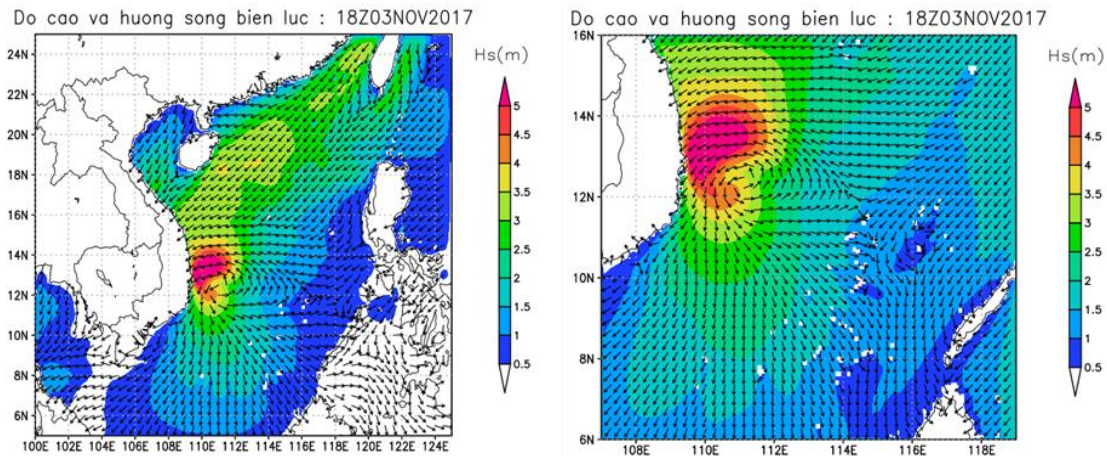
Hình 6. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 00Z (tức 07h) ngày 02/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Thời điểm bão đạt cường độ mạnh nhất, sức gió gần tâm bão đạt cấp 12, giật cấp 15 vào lúc 06Z tức 13h ngày 03/11 (Hình 7). Ở thời điểm này, trường độ cao sóng mô phỏng giữa hai thí nghiệm không có sự khác biệt rõ rệt. Khi đó, độ cao sóng biển có thể đạt trên 5,0 m ở vùng phía Bắc tâm bão. Khu vực Vịnh Bắc Bộ, ven biển Trung Bộ kéo dài xuống Nam biển Đông độ cao sóng biển đều đạt trên 2,0 m. Khu vực Bắc biển Đông độ cao sóng biển có thể đạt 3,0m. Khu vực có độ cao sóng biển trên 3,0m bao phủ vùng rộng lớn xấp xỉ 5×5 độ kinh vĩ (550×550 km) từ khoảng 109°E - 114°E; 10°N - 15°N.



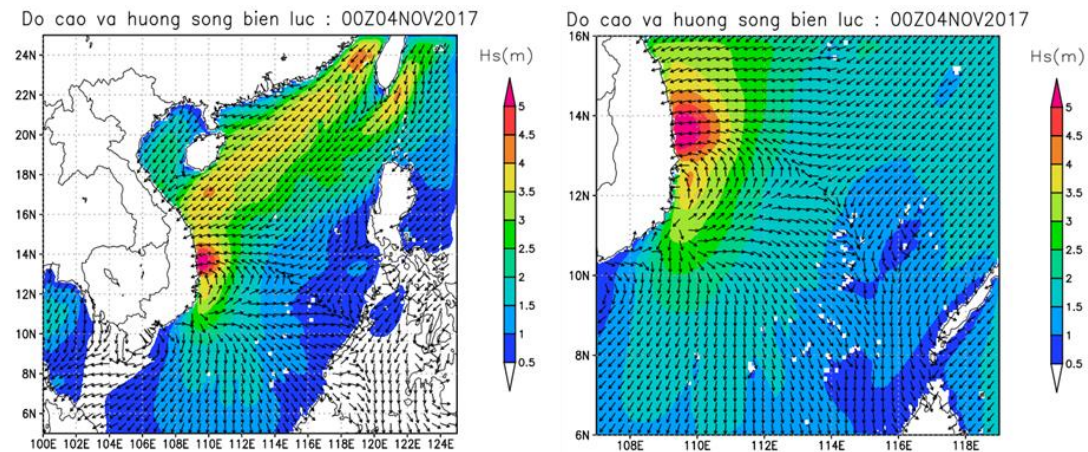
Hình 7. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 06Z (tức 13h) ngày 03/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Đến thời điểm 18Z ngày 03/11 tức 01h ngày 04/11/2017, bão số 12 nằm trên vùng biển Phú Yên - Khánh Hòa, với cường độ cấp 12, giật cấp 15 (Hình 8). Kết quả mô phỏng ở thí nghiệm 01 cho thấy, độ cao sóng biển đạt 4,0m xuất hiện ở khu vực Bắc biển Đông. Vùng biển từ Quảng Trị đến Ninh Thuận có sóng biển cao từ 3,0-4,0 m, riêng vùng biển Bình Định đến Khánh Hòa, sóng biển có thể cao trên 5,0 m. Đối với thí nghiệm 02, trường độ cao sóng ít có sự khác biệt với thí nghiệm 01.



Hình 8. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 18Z ngày 03/11 (tức 01h ngày 04/11/2017) thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Tại thời điểm bão đổ bộ vào đất liền Phú Yên - Khánh Hòa, kết quả giữa hai thí nghiệm ít có sự khác biệt, độ cao sóng trên 3,5 m vẫn kéo dài từ khu vực Bắc biển Đông và vùng biển Quảng Trị đến Khánh Hòa, trong đó vùng biển nam Bình Định đến bắc Khánh Hòa đạt trên 5 m (Hình 9).

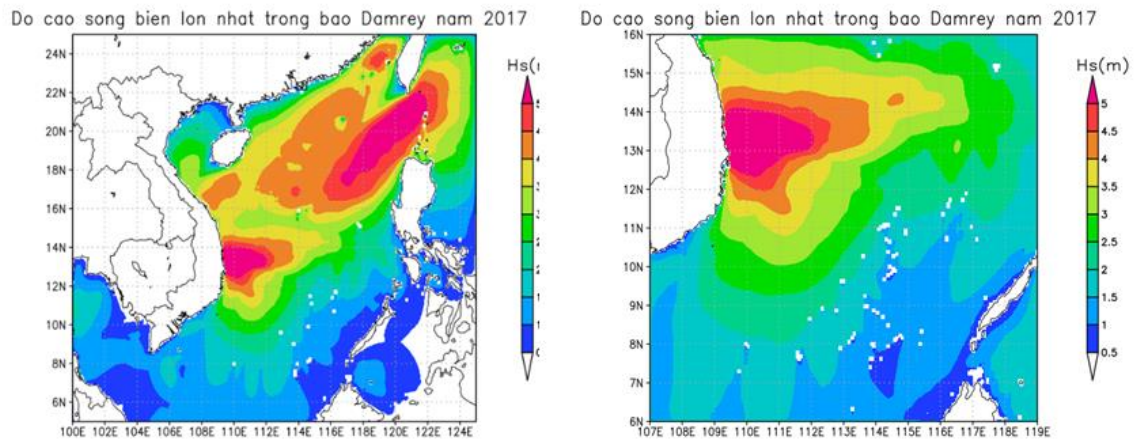


Hình 9. Trường độ cao sóng và hướng sóng thời điểm 00Z (tức 07h) ngày 04/11/2017 thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

Nhìn chung, kết quả mô phỏng từ 2 thí nghiệm cho thấy, diễn biến trường sóng phù hợp với diễn biến của bão và cấp độ gió (gió mạnh gây ra sóng lớn), đồng thời cũng phù hợp với phân bố về mặt không gian (thường khu vực phía Bắc của bão sẽ gây ra gió mạnh và sóng lớn hơn khu vực phía Nam của bão). So sánh giữa hai thí nghiệm thì sự khác biệt chỉ ở những hạn mô phỏng ngắn khi hiệu ứng truyền sóng từ điều kiện biên (thí nghiệm 02) đóng vai trò rõ rệt, còn đến các hạn dài hơn, sự khác biệt giữa 02 thí nghiệm là không đáng kể.

Ngoài xem xét trường độ cao sóng trong từng thời điểm cụ thể, thì độ cao sóng lớn nhất trong bão Damrey cũng được xem xét ở đây (Hình 10). Kết quả cho thấy, từ ngày 01 đến ngày 04/11/2017, do ảnh hưởng của hoàn lưu bão độ cao sóng biển lớn nhất có thể lên tới 5,0 m xuất hiện ở khu vực bắc biển Đông và ngoài khơi Nam Trung Bộ, kết quả này khá phù hợp

với nghiên cứu [13]. Theo nghiên cứu [14], vùng biển ven bờ do có nhiều vịnh, đảo nên độ cao sóng biển chịu nhiều tác động của địa hình và có phân bố phức tạp, do đó cần phải cập nhật chi tiết thêm bộ dữ liệu địa hình ven bờ cho bộ công cụ DNORA.



Hình 10. Trường độ cao sóng lớn nhất trong bão Damrey năm 2017 mô phỏng từ thí nghiệm 01 (trái) và thí nghiệm 02 (phải).

3.2. So sánh kết quả mô phỏng và quan trắc

Số liệu quan trắc sóng từ 4 trạm hải văn gồm Quy Nhơn, Song Tử Tây, Trường Sa và Phú Quý được thu thập từ ngày 01 đến 04/11/2017, với số liệu đo các obs 07, 13 và 19 giờ được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng từ hai thí nghiệm. Các chỉ số ME, RMSE và MAE được tính toán và thể hiện kết quả trong bảng 1.

Bảng 1. Sai số kết quả mô phỏng từ bộ công cụ DNORA với số liệu quan trắc độ cao sóng trong bão Damrey từ ngày 01-04/11/2017.

Chỉ số	D01	D02
Dung lượng mẫu	32	32
Chỉ số ME	0,329	0,428
Chỉ số RMSE	0,667	0,752
Chỉ số MAE	0,536	0,628

Kết quả cho thấy, cả hai thí nghiệm mô phỏng đều cho chỉ số ME dương tức là mô phỏng cao hơn quan trắc. Các sai số RMSE và MAE ở 2 thí nghiệm đều khá cao. Tuy nhiên, cũng cần xem xét lại nguồn số liệu quan trắc do hạn chế về tần suất cũng như chất lượng. So sánh giữa hai thí nghiệm cho thấy, D02 cho kết quả sai số mô phỏng cao hơn D01, có thể đưa ra nhận xét bước đầu, đối với khu vực sóng ngoài khơi, sử dụng thí nghiệm 01 là đủ để mô phỏng hoặc dự báo độ cao sóng, chưa cần thiết phải hạ độ phân giải cao hơn hoặc cập nhật thêm điều kiện biên là trường sóng.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả giới thiệu ứng dụng bộ công cụ DNORA phục vụ dự báo sóng thể hiện qua mô phỏng trường sóng của cơn bão Damrey năm 2017. Một số nhận xét, kết luận được rút ra như sau:

- Bộ công cụ dự báo sóng DNORA đã được hỗ trợ, chuyển giao, cài đặt và đang vận hành tại Đài KTTV Nam Trung Bộ. Nhận thấy, DNORA là một bộ công cụ tiện ích, hỗ trợ cho công tác dự báo nghiệp vụ hải văn của Đài có biển.

- Các tác giả đã thiết lập và lựa chọn miền tính, thiết kế thí nghiệm với các đầu vào là dữ liệu địa hình GEBCO, dữ liệu sóng gió ERA5 và mô hình SWAN để mô phỏng lại trường sóng trong cơn bão Damrey 2017, sử dụng 2 tùy chọn của bộ công cụ DNORA.

- Kết quả nghiên cứu là tài liệu tham khảo có ý nghĩa giới thiệu và phổ biến rộng rãi DNORA như là một bộ công cụ mới phục vụ trong công tác nghiên cứu và dự báo hải văn tại Việt Nam.

- Trong nghiên cứu này, các tác giả chỉ sử dụng các tùy chọn có sẵn của bộ công cụ DNORA vì vậy kết quả mô phỏng chưa được chi tiết cho những khu vực ven bờ, quanh đảo. Để cải thiện được kết quả mô phỏng, dự báo qua bộ công cụ DNORA cần hướng tới cập nhật được chi tiết địa hình những khu vực nói trên.

Kết quả của nghiên cứu mới chỉ là những ứng dụng bước đầu, tuy nhiên, có thể thấy được khả năng ứng dụng của DNORA và sự linh hoạt trong các tùy chọn của bộ công cụ này, cũng như hoàn toàn có thể áp dụng cho các vùng biển khác trên biển Đông.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.T.V., T.V.H.; Xử lý số liệu: P.T.V., N.T.H.; Viết bản thảo bài báo: P.T.V., N.T.H.; Chỉnh sửa bài báo: P.T.V., T.V.H.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đài KTTV Nam Trung Bộ. Bên cạnh đó, tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Viện Khí tượng NaUy đã tài trợ cơ sở thiết bị, máy tính, tiến sĩ Jan-Victor Björkqvist và Lar Robert Hole thuộc Viện Khí tượng Na Uy đã hỗ trợ và chuyển giao bộ công cụ DNORA.

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

Tài liệu tham khảo

1. Hà, B.M.; Thủy, N.B.; Chiến, Đ.Đ. Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 1–10.
2. Trục tuyến: <https://github.com/MET-OM/dnora>.
3. Mounet, R.E.G. Sea state estimation based on measurements from multiple observation platforms. PhD Thesis, Department of Civil and Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, 2023.
4. Tolman, H.L. A third-generation model for wind waves on slowly varying, unsteady, and inhomogeneous depths and currents. *J. Phys. Oceanogr.* **1991**, 21, 782–797.
5. The WAMDI Group. The WAM model - A third generation ocean wave prediction model. *J. Phys. Oceanogr.* **1988**, 18, 1775–1810.
6. Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H.; Booij, N. A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *J. Geophys. Res. Ocean.* **1999**, 104, 7667–7681.
7. Adytia, D.; Saepudin, D.; Tarwidi, D.; Pudjaprasetya, S.R.; Husrin, S.; Sopaheluwakan, A.; Prasetya, G. Modelling of deep learning-based downscaling for wave forecasting in coastal area. *Water* **2023**, 15, 204.
8. Ngọc, P.K.; Thủy, N.B. Một số kết quả ban đầu về ứng dụng số liệu vệ tinh đánh giá độ cao sóng dự báo. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 727, 13–23.
9. Báo cáo phân tích phục hồi sớm sau cơn bão Damrey tại Việt Nam năm 2017. UNDP Việt Nam. Năm 2018.
10. Thăng, V.V.; Kiên, T.B.; Tuyết, L.T.; Thảo, T.T.; Thức, T.D.; Tuân, L.V. Đặc điểm hoạt động của xoáy thuận nhiệt đới ở Tây Bắc Thái Bình Dương, Biển Đông và đổ bộ vào Việt Nam năm 2017. *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2018**, 5(3), 27–35.
11. Phong, N.B.; Hiệp, N.V.; Thắng, N.V. Ứng dụng sơ đồ ban đầu hóa xoáy động lực dự báo cường độ và nghiên cứu cấu trúc bão Damrey (2017) giai đoạn gần bờ và đổ bộ. *Tạp chí Khoa học biến đổi khí hậu* **2019**, 16(12), 23–35.

12. Vui, P.T.; Hung, T.V.; Tuấn, P.V. Nghiên cứu dự báo dựa trên tác động của cơn bão Damrey đến thành phố Nha Trang tỉnh Khánh Hòa. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 753, 60–73.
13. Hà, B.M.; Thủy, N.B.; Chiến, Đ.Đ. Kết quả bước đầu dự báo tổ hợp sóng biển tại Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2021**, 721, 1–10.
14. Chanh, B.V.; Hùng, N.Đ. Đánh giá tác động của địa hình ven bờ tỉnh Khánh Hòa đến phân bố sóng trong bão Damrey bằng mô hình Mike 21SW. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2022**, 733, 73–85.
15. Hersbach, H.; Bell, B.; Berrisford, P.; Hirahara, S.; Horányi, A.; Muñoz-Sabater, J.; Nicolas, J.; Peubey, C.; Radu, R.; Schepers, D.; et al. The ERA5 global reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **2020**, 146, 1999–2049.
16. Trục tuyến: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>
17. Trục tuyến: https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/gebco_2021/
18. Trục tuyến: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>.
19. Trung tâm Dự báo Khí tượng thủy văn Quốc gia. Đặc điểm Khí tượng thủy văn năm 2017. 2017.
20. Christakos, K.; Björkqvist, J.V. DNORA: Open-access dynamical downscaling of open-ocean wave hindcast/forecast for coastal areas. Proceeding of the 5th Coastal Engineering Day, NTNU/PIANC, 31.03.2022.
21. SWAN team. Swan user manual, Delft University of Technology, 2016.

Application of the DNORA toolkit to forecast wave in the South-Central Coast: A case study the wave fields simulation results during Damrey typhoon in 2017

Nguyen Thi Hien¹, Tran Van Hung^{1*}, Phung Thi Vui¹

¹ Southern Central Regional Hydro-Meteorological Center; hiennt22992@gmail.com; tranhungdubao@gmail.com; phungthivui@gmail.com

Abstract: Ocean waves are a factor with an important role and significance affecting economic activities at sea and in coastal areas. Accurately forecasting waves, especially big waves during typhoons, will minimize human risks as well as economic damage. Currently, innovating hydrometeorological forecasting technology in general and hydrometeorological forecasting in particular in the hydrometeorological industry is the right direction to improve forecast quality. The DNORA toolkit is a technology recently transferred by the Norway Meteorological Institute to Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration. In this study, the team introduced the DNORA toolkit and some results of DNORA application to forecast waves in Damrey typhoon in 2017. The results show that the simulated wave heights tend to be higher than the actual measurements and RMSE evaluation index ranges from 0.67-0.75 m.

Keywords: Damrey Typhoon; Wave; DNORA.