

## TÍNH TOÁN CÁC ĐẶC TRƯNG SÓNG Ở KHU VỰC NINH THUẬN - BÌNH THUẬN BẰNG MÔ HÌNH SWAN TRÊN LƯỚI PHI CẦU TRÚC

**Trần Văn Chung\***, Nguyễn Hữu Huân, Nguyễn Trương Thanh Hội

*Viện Hải dương học-Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

\*E-mail: tvanchung@gmail.com

Ngày nhận bài: 5-11-2015

**TÓM TẮT:** Mô hình sóng SWAN (phiên bản 41.01A) với lưới phi cầu trúc đã được áp dụng thử nghiệm vào tính sóng tại vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận. Đây là mô hình sóng thế hệ thứ ba, sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn, ẩn hoàn toàn dựa trên các cạnh của điểm lưới phần tử phi cầu trúc với một sự khác nhau lớn về độ phân giải không gian nhằm phù hợp với một địa hình đáy phức tạp đại diện cho vùng nước nông và đường bờ khúc khuỷu. Đặc biệt, có thể sử dụng cùng mạng lưới tam giác phi cầu trúc trong tính toán dòng chảy bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Điều này rất hữu ích trong giải quyết bài toán tương tác sóng - dòng và sóng - sóng. Những kết quả bước đầu cho thấy, cách tiếp cận ứng dụng mô hình tính sóng này là hợp lý, ổn định cho bước thời gian bất kỳ cho mạng lưới làm mịn, mang đặc trưng địa phương trong vùng nghiên cứu. Một số ứng dụng được chứng minh tính hợp lý của phiên bản lưới phi cầu trúc trong mô hình SWAN.

**Từ khóa:** Phổ sóng, SWAN, lưới phi cầu trúc, sai phân hữu hạn, phần tử hữu hạn.

### MỞ ĐẦU

Như đã biết, dự đoán sự truyền sóng vào vùng nước nông dưới các điều kiện trường độ sâu phức tạp và tác động của dòng chảy là rất quan trọng để hiểu các điều kiện tự nhiên của các vùng ven biển và đảo, việc thiết kế và quản lý các công trình biển nhân tạo, đánh giá rủi ro môi trường, sinh thái. Sóng như vậy thường tiêu tán trong một dải tương đối hẹp tại vùng sóng đổ ven bờ. Sóng đã được chứng minh là yếu tố cực kỳ quan trọng trong hiểu biết các quá trình như vận chuyển và lắng đọng trầm tích ở các cửa sông [1] và trao đổi vật chất giữa vùng gần bờ và bên trong thềm (inner shelf) [2]. Do đó, việc mô phỏng phổ sóng chính xác là rất cần thiết vì nó cho phép hiểu rõ hơn và phân tích sự tương tác giữa gió, sóng và dòng chảy trong các trường hợp: cửa sông, vịnh hẹp, vịnh nhỏ thủy triều, hồ, đầm và các kênh.

Việc sử dụng lưới không cấu trúc cung cấp một lựa chọn tốt cho các mô hình lồng lưới

không chỉ vì sự dễ dàng sàng lọc lưới cục bộ, hoặc là cố định hoặc thích nghi, nhưng cũng có tính linh hoạt cao để tạo ra mạng lưới dọc theo bờ biển và xung quanh đảo. Không cấu trúc lưới với độ phân giải khác nhau cung cấp khả năng đồng thời nắm bắt quy mô khác nhau, nhiều cỡ độ lớn, ví dụ: từ hàng chục mét đến hàng trăm cây số. Các lưới biến đặc biệt hữu ích trong các khu vực ven biển nơi mà độ sâu nước khác nhau rất nhiều, do đó cho độ phân giải cao nhất mà nó là cần thiết nhất. Hơn nữa, điều này có thể được tự động hóa với sự thay đổi lưới lớn, chẳng hạn, sử dụng kỹ thuật cho lưới tam giác với hình dạng bất kỳ [3, 4]. Mạng lưới phi cầu trúc cũng cho phép một vùng nghiên cứu lớn với lưới làm mịn mang tính địa phương.

Bài báo trình bày một ứng dụng mới của mô hình SWAN (phiên bản 41.01A, cập nhật mới nhất tới thời điểm này) với lưới không cấu trúc vào vùng nghiên cứu có đường bờ biển đổi phức tạp, biên mở rộng, xử lý biên khá phức

tạp và không thuận lợi cho lan truyền sóng (Ninh Thuận - Bình Thuận). Phiên bản này sử dụng khác đôi chút so với lưới không cấu trúc với các kỹ thuật lặp đi lặp lại bốn hướng Gauss-Seidel tương tự từ phiên bản cấu trúc của SWAN, đòi hỏi sự thích nghi trong lõi tính toán. Điểm nổi bật là thuật toán lưới không cấu trúc này là không dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn hoặc phương pháp phân tử hữu hạn mà là phương pháp sai phân hữu hạn truyền thống. Với lộ trình thực hiện ở đây, mô hình này vẫn giữ được quá trình vật lý và số học và cấu trúc mã số của mô hình lưới cấu trúc SWAN, nhưng có thể chạy trên mạng lưới không cấu trúc.

## TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

### Mô tả mô hình

Các mô hình sóng được sử dụng trong nghiên cứu này là các mô hình sóng thể hệ thứ ba SWAN 41,01 (Mô phỏng sóng gần bờ (SWAN - Simulating Waves Nearshore); mô hình phổ sóng SWAN tính toán sự phát triển của mật độ sóng tác động N sử dụng phương trình cân bằng tác động [5]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_x \cdot \left[ (\vec{c}_g + \vec{u}) N \right] + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

Với:

$$S_{tot} = S_{in} + S_{wc} + S_{n14} + S_{bot} + S_{brk} + S_{nl3} \quad (2)$$

Về bên trái phương trình (1), các số hạng lần lượt biểu diễn sự thay đổi của tác động sóng theo thời gian, sự lan truyền của sóng theo địa lý không gian  $\vec{x}$  (với  $\vec{c}_g$  các vector vận tốc nhóm sóng và  $\vec{u}$  - dòng chảy xung quanh), khúc xạ do độ sâu và do dòng chảy gây ra (với  $c_\theta$  vận tốc lan truyền theo hướng không gian  $\theta$ ) và sự chuyển dịch của các tần số radian  $\sigma$  do sự thay đổi lấy trung bình của dòng chảy và độ sâu (với vận tốc lan truyền  $c_\sigma$ ). Về bên phải biểu diễn cho quá trình thành tạo, tiêu tán hoặc phân phối lại năng lượng sóng. Trong nước sâu, ba số hạng nguồn phát được sử dụng. Đây là các chuyển giao năng lượng từ gió đến các con sóng,  $S_{in}$ , sự tiêu tán năng lượng sóng do sóng bạc đầu,  $S_{wc}$ , và chuyển đổi phi tuyến của năng lượng sóng do tương tác bộ bốn (bốn sóng),  $S_{n14}$ . Trong vùng nước nông, tiêu tán do ma sát

đáy,  $S_{bot}$ , độ sâu gây ra đổ vỡ,  $S_{brk}$ , và bộ ba tương tác phi tuyến (ba sóng),  $S_{nl3}$ , cho ước lượng thêm vào. Chi tiết mở rộng trên công thức của các quá trình này có thể được tìm thấy trong: Ris (1997) [6], Booij và nnk., (1999) [5] và Holthuijsen (2007) [1].

Đối với bài toán được đặt ra hợp lý, điều kiện biên phải được cung cấp. Các thành phần sóng đến ở biên phía biển được quy định bởi một phổ hai chiều. Tại biên khép kín, ví dụ: các biên đường bờ biển và biên bên, được hấp thụ đầy đủ năng lượng sóng tiêu tán hoàn toàn và giữ lại trong các vùng địa lý tương ứng. Các biên trên và dưới trong không gian tần số được chỉ định bởi tương ứng  $\sigma_{min}$  và  $\sigma_{max}$ . Các biên này được hấp thụ đầy đủ, mặc dù phần đuôi chân đoạn  $\sigma^{-4}$  được thêm vào trên tần số cắt cực cao, được sử dụng để tính toán phi tuyến tương tác sóng-sóng và tính toán toàn bộ các thông số sóng. Từ đó định hướng không gian là một vùng vòng tròn khép kín, không có điều kiện biên là cần thiết.

### Nguồn tài liệu

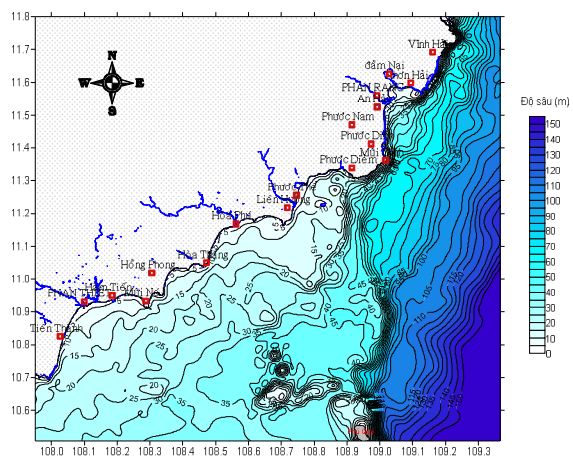
*Trường độ sâu:* Bản đồ phân bố độ sâu: Được cập nhật từ cơ sở dữ liệu: <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>, với độ phân giải 1 phút/số liệu. Thông tin cụ thể của nguồn số liệu này như sau:

- (i) Hệ thống tọa độ: Theo độ thập phân địa lý;
- (ii) Mốc nằm ngang: Hệ thống đo đạc toàn cầu 1984 (World Geodetic System 1984 (WGS 84));
- (iii) Mốc theo phương thẳng đứng: Mực nước biển trung bình (Mean Sea Level (MSL));
- (iv) Các đơn vị theo phương thẳng đứng: mét (m);
- (v) Khoảng cách lưới: 1 phút địa lý.

Cập nhật các số liệu đo sâu ven bờ trong khuôn khổ của đề tài (4/2015) [Đề tài cấp Nhà nước: “*Xây dựng cơ sở dữ liệu số các yếu tố hải dương từ nguồn ảnh VNREDSat-1 và các ảnh viễn thám khác cho khu vực ven biển Ninh Thuận - Bình Thuận phục vụ phát triển kinh tế biển bền vững*” (2014-2016)]. Ngoài ra, nguồn số liệu này được chúng tôi bổ sung và hiệu

chỉnh lại từ nguồn số liệu thực đo từ dự án nước trời Nam Trung Bộ (Việt Nam - Đức) [Dự án hợp tác quốc tế theo Nghị định thư giữa Việt Nam - CHLB Đức: “Nghiên cứu hiện tượng nước trời và các quá trình có liên quan trong khu vực thềm lục địa Nam Việt Nam” (2003 - 2009)] mà cụ thể là chuyến khảo sát được thực hiện bởi tàu Sonne (4/2006) (theo các mặt cắt  $\Delta x = \Delta y = 100$  m, mốc chuẩn theo WGS 84).

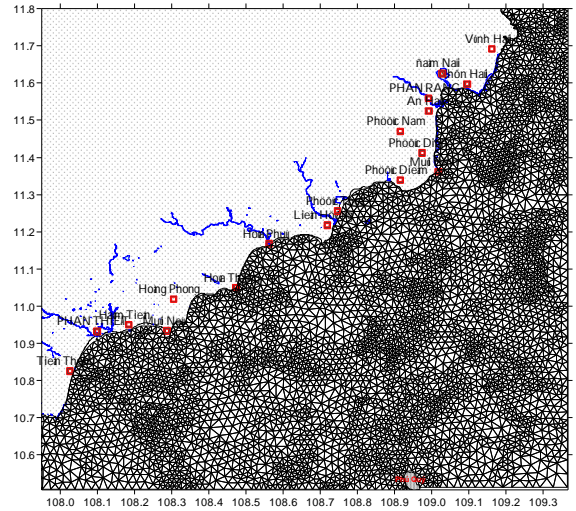
Để có một mạng lưới tam giác phi cấu trúc có khả năng thích ứng biên cao, mô phỏng hợp lý cho các quá trình thủy động lực học cho vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận. Khu vực nghiên cứu được chúng tôi chọn với vĩ độ từ  $10,5064^{\circ}N$  đến  $11,9503^{\circ}N$  và kinh độ từ  $107,5346^{\circ}E$  đến  $109,3657^{\circ}E$  với tổng diện tích mặt thoáng cho tính toán là  $13.333,9564$  km<sup>2</sup> (hình 1). Phương pháp giải chúng tôi sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn, mạng lưới tính là mạng lưới tam giác. Trong đó mạng lưới tam giác được thiết lập với góc cực tiểu là  $30^{\circ}$ ; số điểm tính trong mạng lưới tam giác là 5.226, với tổng số tam giác là 10.040 và 185 nút cho điểm biên mở, với diện tích tam giác nhỏ nhất  $0,1077$  km<sup>2</sup>, trung bình  $1,3281$  km<sup>2</sup>, lớn nhất  $8,4933$  km<sup>2</sup> (hình 2, hình 3).



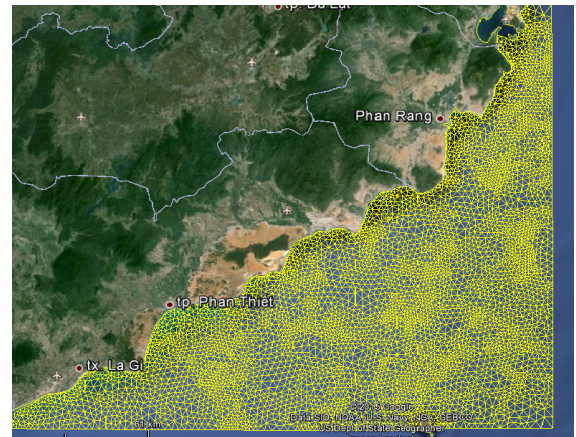
**Hình 1.** Trường độ sâu khu vực nghiên cứu

Chi tiết về phương pháp và kết quả mô phỏng dòng chảy được trích xuất trong áp dụng mô hình sóng SWAN cho vùng biển Ninh Thuận - Bình Thuận có thể tham khảo trong Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung, 2009, 2010 [7, 8]. Ngoài các số liệu khảo sát ngoài

hiện trường, mô hình còn sử dụng các số liệu chính cho tính đặc trưng sóng như sau:



**Hình 2.** Mạng lưới tam giác cho mô phỏng các quá trình thủy động lực



**Hình 3.** Mạng lưới tính trên google earth

Trường số liệu đặc trưng sóng (độ cao, chu kỳ và hướng) tại biên ngoài khơi được cập nhật từ: [http://oos.soest.hawaii.edu/erddap/grid-dap/NWW3\\_Global\\_Best.html](http://oos.soest.hawaii.edu/erddap/grid-dap/NWW3_Global_Best.html) với độ phân giải  $0,5$  độ theo từng giờ (số liệu tính thống kê từ ngày 07/11/ 2010 đến tháng 31/07/2015).

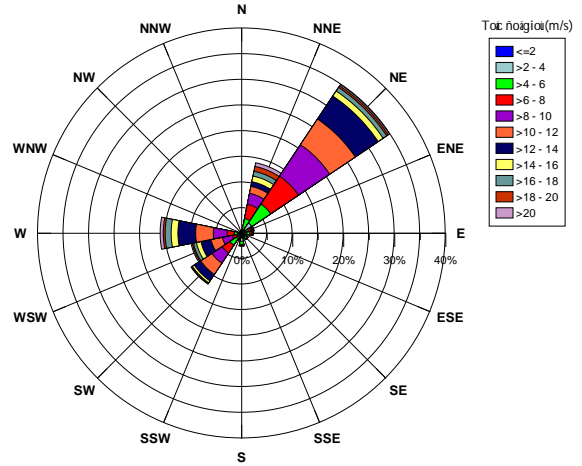
Số liệu gió được cập nhật từ: <http://coast-watch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/ncdcOw6hr.html> với độ phân giải  $0,25$  độ theo ôp 6 giờ (số liệu tính thống kê từ ngày 09/07/1987 đến tháng 31/07/2015). Các số liệu gió được hiệu chỉnh địa phương theo trạm đo gió Phú Quý

trong nhiều năm. Từ kết quả phân tích trường gió cho 21 năm tại trạm Phú Quý từ năm 1987 đến 2007 (hình 4, bảng 1), chúng tôi nhận thấy:

Ứng với trường gió mùa Đông Bắc, tại địa phương có hai hướng gió chính là hướng đông bắc chiếm tần suất 34,83%, đây là hướng xuất hiện nhiều nhất khu vực nghiên cứu, thời gian hướng đông bắc (NE) kéo dài có thể đạt 137 ngày và hướng thứ hai là hướng bắc đông bắc với tần suất xuất hiện khoảng 14% với thời gian duy trì cực đại là 49 ngày.

Ứng với trường gió Tây Nam, có 3 hướng gió đại diện. Hướng tây (W) với tần suất xuất hiện 15,96%, thời gian duy trì cực đại là 23 ngày; hướng tây tây nam (WSW) với tần suất xuất hiện 10,09%, thời gian duy trì dài nhất là 14 ngày; hướng tây nam (SW) với tần suất xuất hiện khoảng 11,19%, có thời gian duy

trì cao nhất có thể đạt 57 ngày, duy trì lâu nhất trong trường gió mùa Tây Nam.



Hình 4. Hoa gió tại trạm Phú Quý

Bảng 1. Phân trăm xuất hiện của tốc độ gió và thời gian duy trì cực đại theo hướng tại trạm Phú Quý (1987 - 2007)

Tốc độ gió (m/s)	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
0-2	0	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,04	0	0	0,01	0
2-4	0,05	0,29	0,87	0,34	0,52	0,17	0,34	0,09	0,74	0,21	0,57	0,21	0,37	0	0,12	0,07
4-6	0,09	1,41	3,27	0,68	0,86	0,14	0,78	0,29	1,12	0,39	1,26	0,48	0,63	0,05	0,12	0,13
6-8	0,1	2,74	5,92	0,65	0,47	0,07	0,22	0,16	0,52	0,22	1,9	0,61	0,98	0,04	0,1	0,04
8-10	0,08	2,29	5,63	0,29	0,23	0,05	0,03	0,04	0,07	0,13	1,8	1,42	2,01	0,04	0,01	0,03
10-12	0,04	1,64	5,42	0,17	0,07	0,12	0,04	0,01	0,04	0,21	1,72	1,7	1,92	0,03	0,03	0,04
12-14	0,04	1,26	6,05	0,16	0,04	0,09	0	0	0	0,03	2,59	2,41	3,62	0,09	0,03	0,08
14-16	0,03	1,2	5,29	0,05	0,01	0,01	0,03	0	0	0,04	1,43	1,75	3,4	0,04	0,03	0,04
16-18	0	0,85	1,12	0,09	0	0,01	0,01	0,05	0	0	0,33	0,72	1,23	0	0	0
18-20	0,03	0,93	0,68	0,01	0	0	0	0	0	0,01	0,17	0,42	0,99	0,04	0,01	0,01
>20	0,01	1,34	0,53	0,01	0,01	0	0	0	0	0,01	0,1	0,34	0,82	0,07	0	0
Tổng số cột	0,47	14	34,83	2,49	2,24	0,69	1,49	0,67	2,52	1,26	11,91	10,09	15,96	0,39	0,46	0,43
$\bar{v}$ (m/s)	8	11	10	7	5	7	5	6	4	7	10	12	12	13	6	8
$v_{max}$ (m/s)	22	28	28	20	20	16	16	16	11	20	36	33	34	25	18	18
$t_{max}$ (ngày)	1	49	137	5	4	7	4	3	5	3	57	14	23	1	1	1

Ghi chú:  $\bar{v}$  : Tốc độ gió trung bình theo các hướng;  $v_{max}$  : Tốc độ gió cực đại theo các hướng;  $t_{max}$  : thời gian duy trì cực đại.

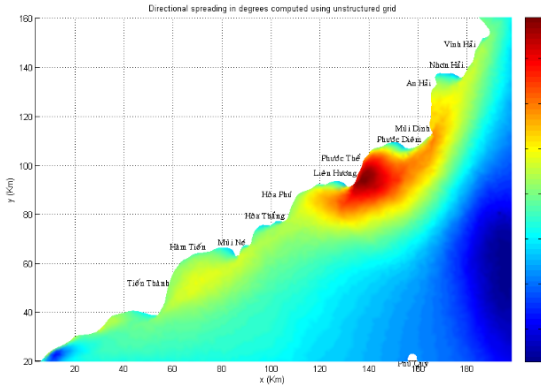
## KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

### Các kết quả tính toán các đặc trưng sóng

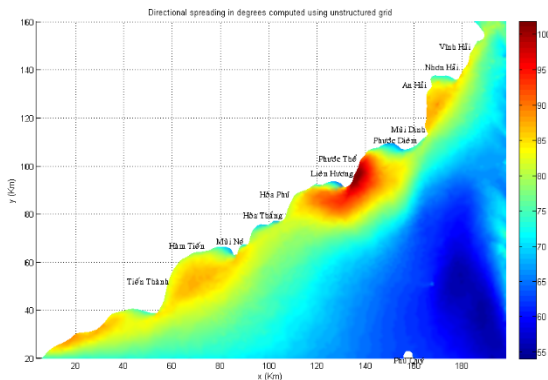
Kết quả tính toán các đặc trưng sóng theo hai dạng tương tác, một là tương tác sóng chi

chịu ảnh hưởng trường gió (cách làm truyền thống) và hai là tương tác sóng tổng hợp khi chịu tác động đồng thời của trường gió, dòng chảy tầng mặt và độ cao bề mặt biển. Mô phỏng đầy đủ hai tương tác này sẽ làm sáng tỏ được



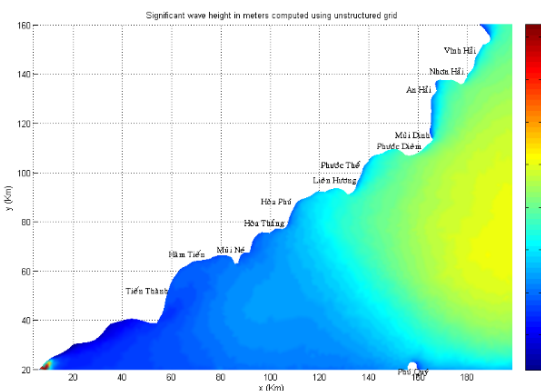


**Hình 7a.** Hướng lan truyền sóng (độ) chỉ xét tác động trường gió Đông Bắc

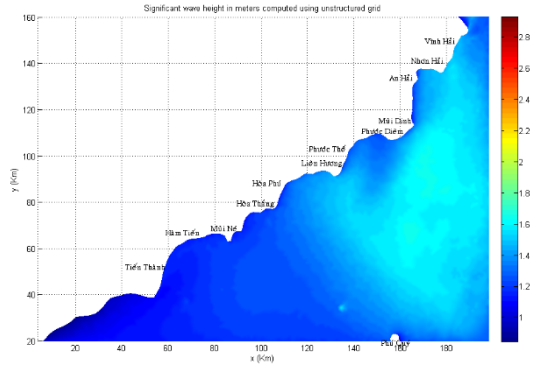


**Hình 7b.** Hướng lan truyền sóng (độ) trong tương tác tổng hợp do ảnh hưởng mùa gió Đông Bắc

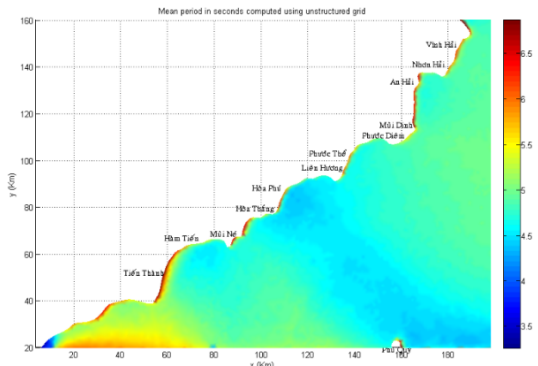
**Trường sóng điển hình trong mùa gió Tây Nam**



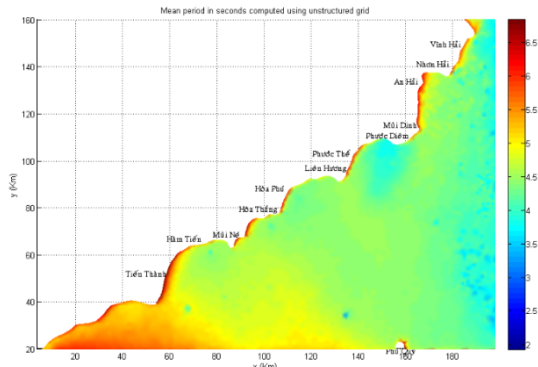
**Hình 8a.** Độ cao sóng có nghĩa (m) chỉ xét tác động của trường gió Tây Nam



**Hình 8b.** Độ cao sóng có nghĩa (m) trong tương tác tổng hợp do ảnh hưởng mùa gió Tây Nam



**Hình 9a.** Chu kỳ trung bình (s) chỉ xét tác động của trường gió Tây Nam



**Hình 9b.** Chu kỳ trung bình (s) trong tương tác tổng hợp do ảnh hưởng mùa gió Tây Nam

Theo kết quả tính, có sự khác biệt khá rõ rệt trên cả 3 đặc trưng sóng (độ cao, chu kỳ và hướng lan truyền sóng) trong mùa gió Tây Nam khi ta xét tác động sóng theo 2 cách đã nói ở trên. Các hình 8a, 8b đến 10a, 10b đã thể hiện khá rõ sự khác biệt này. Chi tiết về giá trị độ

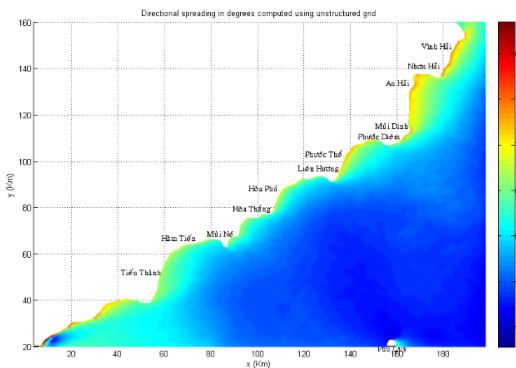
lớn, với trường hợp chỉ tác động của trường gió Tây Nam, độ cao sóng có nghĩa đạt giá trị lớn nhất trong mạng lưới tính là 2,5 m, chu kỳ sóng 3,9 s (độ cao sóng trung bình 1,5 m, chu kỳ trung bình 4,9 s) tại độ sâu 4,3 m và hướng lan truyền  $62,5^{\circ}$  vị trí đạt độ cao sóng lớn nhất xung quanh tọa độ  $(109,21164^{\circ}\text{E}; 11,56348^{\circ}\text{N})$  (cùng vị trí độ cao sóng đạt giá trị lớn nhất trong mùa gió Đông Bắc). Trong khi chịu sự tác động của yếu tố dòng chảy và mực nước, các kết quả mô phỏng cho thấy có sự gia tăng độ cao sóng và chu kỳ sóng ngắn hơn và có sự khác biệt rõ ở chu kỳ sóng khi độ cao đạt giá trị lớn nhất, giá trị độ cao sóng lớn nhất trong mạng lưới tính đạt 2,9 m, chu kỳ sóng 3,0 s (trung bình độ cao sóng 1,4 m, chu kỳ sóng trung bình 4,5 s) ở khu vực sóng đạt giá trị cao ngoài khơi khu vực nghiên cứu có độ sâu khoảng 101,1 m xung quanh vị trí  $(108,94556^{\circ}\text{E}; 11,06654^{\circ}\text{N})$  (hình 8 b - 10b).

## NHẬN XÉT VÀ THẢO LUẬN

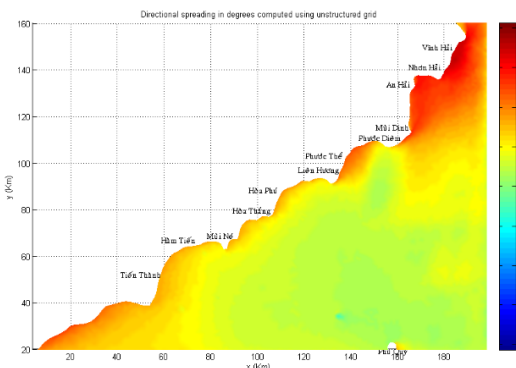
Từ kết quả mô phỏng sóng, có thể thấy một số đặc trưng quan trọng về trường sóng trong khu vực Ninh Thuận - Bình Thuận. Xét giá trị trung bình trên toàn vùng nghiên cứu, không thể thấy có sự khác nhau đáng kể khi thực hiện hai mô phỏng lực tác động đến độ cao sóng: tác động chính chi của trường gió mùa và tác động tổng hợp (gió, dòng chảy và thay đổi mực nước biển). Tuy nhiên, xét trên phương diện phân bố các đặc trưng sóng và các vị trí đạt độ cao sóng lớn nhất có sự khác biệt khá rõ ràng. Kết quả mô phỏng cho thấy, hầu hết sự tạo ra độ cao sóng ngoài khơi cao là do sự tác động đáng kể của chế độ thủy động lực mà điển hình là dòng chảy (do gió và triều). Cụ thể sự tác động này như sau:

Với trường gió Đông Bắc, trong trường hợp chỉ chịu sự tác động của gió thì vị trí độ cao sóng đạt lớn nhất lại cho giá trị cao hơn và chu kỳ ngắn hơn so với sóng khi chịu sự tác động tổng hợp, nhưng giá trị độ cao sóng trung bình trong toàn vùng gần như tương đồng. Sự chênh lệch độ lớn độ cao sóng cực trị giữa hai tác động này khoảng 0,6 m với chu kỳ trung bình để độ cao sóng đạt lớn nhất lệch khoảng 0,8 s. Trong khi, với ảnh hưởng của trường gió mùa Tây Nam, có sự khác biệt khá rõ rệt khi xét hai sự tác động. Phân bố độ cao sóng đã thể hiện khá rõ nét sự khác biệt này. Dưới tác động của dòng chảy (do gió - triều), độ cao sóng đạt cực đại đã tăng đáng kể nhưng ở vị trí ngoài khơi vùng nghiên cứu, tuy nhiên độ cao sóng trung bình trên vùng lại nhỏ hơn 0,1 m so với trường hợp chỉ tác động của gió. Sự chênh lệch giữa hai độ cao sóng đạt giá trị lớn nhất khoảng 0,4 m với chu kỳ chênh lệch 0,9 s.

Phiên bản mô hình sóng SWAN thể hiện khả năng mô phỏng các trường sóng trên vùng biển thềm lục địa, đầm và cửa sông ven biển mà điển hình được chứng minh trong bài báo này là vùng biển với biên mở phức tạp Ninh Thuận - Bình Thuận một cách hiệu quả và ổn định, trong khi đủ linh hoạt để cho phép liên kết chặt chẽ cùng hệ thống mạng lưới với mô hình dòng chảy FEM (mô hình dòng chảy ba chiều phi tuyến theo phương pháp phân tử hữu hạn).



**Hình 10a.** Hướng lan truyền sóng (độ) chỉ xét tác động của trường gió Tây Nam



**Hình 10b.** Hướng lan truyền sóng (độ) trong tương tác tổng hợp do ảnh hưởng mùa gió Tây Nam

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Hữu Huân, Chủ nhiệm đề cấp cấp Nhà nước: “Xây dựng cơ sở dữ liệu số các yếu tố hải dương từ nguồn ảnh VNREDSat-1 và các ảnh viễn thám khác cho khu vực ven biển Ninh Thuận - Bình Thuận phục vụ phát triển kinh tế biển bền vững”, mã số: VT/UD-07/14-15 và đồng nghiệp ở Viện Hải dương học vì những đóng góp quý giá để hoàn thành bài báo này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Holthuijsen, L. H., 2010.* Waves in oceanic and coastal waters. Cambridge University Press. 404 p.
2. *Ris, R. C., Holthuijsen, L. H., and Booij, N., 1999.* A third-generation wave model for coastal regions: 2. Verification. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, **104**(C4): 7667-7681.
3. *Bilgili, A., Smith, K. W., and Lynch, D. R., 2006.* BatTri: A two-dimensional bathymetry-based unstructured triangular grid generator for finite element circulation modeling. *Computers & Geosciences*, **32**(5): 632-642.
4. *Shewchuk, J., 1996.* Triangle: Engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator. In *First Workshop on Applied Computational Geometry* (pp. 124-133). ACM.
5. *Booij, N., Ris, R. C., and Holthuijsen, L. H., 1999.* A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. *Journal of geophysical research: Oceans*, **104**(C4): 7649-7666.
6. *Lentz, S. J., Fewings, M., Howd, P., Fredericks, J., and Hathaway, K., 2008.* Observations and a model of undertow over the inner continental shelf. *Journal of Physical Oceanography*, **38**(11): 2341-2357.
7. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2009.* Tính toán dòng chảy trong khu vực nước trời Nam Trung Bộ bằng mô hình dòng chảy ba chiều (3-D) phi tuyến. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **9**(2): 1-25.
8. *Long, B. H., and Van Chung, T., 2010.* Some experimental calculation for 3D currents in the strong upwelling region of southern central Vietnam using finite element method. In *Proceedings of the*. Pp. 165-177.

## COMPUTATION OF WAVE CHARACTERISTICS IN NINH THUAN - BINH THUAN WATERS BY SWAN MODEL ON UNSTRUCTURED GRIDS

**Tran Van Chung, Nguyen Huu Huan, Nguyen Truong Thanh Hoi**

*Institute of Oceanography-VAST*

**ABSTRACT:** *The wave model SWAN (version 41.01A) with unstructured grid has been applied for Ninh Thuan - Binh Thuan waters. This model is SWAN Cycle III using a vertex-based, fully implicit finite difference method. It can accommodate unstructured meshes with a high variability in geographic resolution suitable for representing complicated bottom topography in shallow areas and irregular shoreline. In particular, the unstructured meshes (triangular meshes) can be used to calculate the flow by finite element method. This is very helpful in solving the problems of interactions between wave-current and wave-wave. The initial results indicate that the approach to SWAN model is reasonable, stable for any time step while permitting local mesh refinements in interested areas. A lot of applications are shown to verify the correctness and numerical accuracy of the unstructured version of SWAN.*

**Keywords:** *Wave spectrum, SWAN; unstructured grid, finite difference, finite element.*