

## Mô phỏng nước dâng do bão kết hợp với thủy triều khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế

Đỗ Đình Chiến<sup>1</sup>, Phùng Đăng Hiếu<sup>2</sup>, Dư Văn Toán<sup>2</sup>, Nguyễn Thọ Sáo\*<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường, 23/62 Nguyễn Chí Thanh, Hà Nội, Việt Nam*

<sup>2</sup>*Viện Nghiên cứu quản lý Biển và Hải đảo, 125 Trung Kính, Hà Nội, Việt Nam*

<sup>3</sup>*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, 334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 01 tháng 4 năm 2013

Chấp nhận xuất bản ngày 29 tháng 4 năm 2013

**Tóm tắt.** Bài báo trình bày kết quả kiểm nghiệm mô hình nước dâng do bão kết hợp với thủy triều vùng ven bờ và ứng dụng tính toán cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế. Mô hình được phát triển dựa trên hệ phương trình nước nông phi tuyến và sai phân hoá theo phương pháp SMAC kết hợp với sơ đồ CIP có độ chính xác bậc ba cho thành phần phi tuyến. Trước hết mô hình kiểm chứng cho bài toán thủy triều toàn biển Đông có tính đến hiệu ứng ngập vùng đất thấp do triều. Sau đó, mô hình hiệu chỉnh và kiểm chứng cho bài toán nước dâng do tác động của gió, áp kết hợp với thủy triều. Ngập lụt do nước dâng bão được tính toán cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế dưới tác động của cơn bão Xangsane năm 2006. Kết quả trong nghiên cứu này đã cho thấy mô hình toán có tính đến hiệu ứng ngập vùng đất thấp cho phép tính toán tốt mực nước dao động dưới tác động của triều và gió. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy ngập lụt khu vực phía trong đầm phá Tam Giang chủ yếu do mưa lũ đổ về còn nước dâng bão chủ yếu có tác động làm ngăn cản thoát lũ và do đó làm gia tăng khả năng gây ngập của mưa lũ.

*Từ khoá:* Nước dâng bão, Thủy triều, Ngập lụt

### 1. Mở đầu

Ven bờ biển Thừa Thiên Huế là một khu vực rất đặc biệt, trải dài khoảng 127 km, dọc bờ biển là một khu vực đầm phá giàu nguồn lợi hải sản và tiềm năng nuôi trồng thủy sản cao. Tài liệu cho thấy, bão và ATNĐ là những thiên tai xuất hiện ở Thừa Thiên Huế không nhiều, trung bình hàng năm chỉ 0,6 cơn nhưng khi đã có tác động thì thường gây ra hậu quả khá nghiêm

trọng. Trong quá khứ đã ghi nhận những trận bão gây thiệt hại lớn thí dụ như: bão CECIL đổ bộ vào Vĩnh Linh (Quảng Trị) ngày 16/10/1985 với sức gió cấp 13 đã gây thiệt hại cho hai tỉnh Quảng Trị, Thừa Thiên Huế. Bão đã làm đổ 214.000 ngôi nhà, 2000 phòng học, 200 cơ sở y tế, 600 cột điện cao thế, hàng nghìn tàu thuyền bị đắm, 840 người bị chết, 100 người mất tích, 200 người bị thương. Đây là cơn bão trong 100 năm mới xảy ra một lần. Ngày 18/10/1990 một cơn bão có tên là ED đã ảnh hưởng đến Thừa Thiên Huế với tốc độ gió 100km/giờ đã làm 18

\* Tác giả liên hệ. ĐT: 0912008553  
E-mail: saont@vnu.edu.vn

người chết và thiệt hại nhiều tài sản. Bão Xangsane đổ bộ vào Đà Nẵng ngày 1/10/2006 gây ra gió cấp 10, 11 ở các huyện phía nam Thừa Thiên Huế và ngập lụt trên toàn tỉnh với tổng thiệt hại lên tới gần 3 nghìn tỷ đồng và làm 10 người chết. Bão Ketsana năm 2009 đổ bộ vào Quảng Nam cũng gây ngập lụt lớn cho khu vực Thừa Thiên Huế và gây thiệt hại đáng kể [1, 2].

Do đó, việc thiết lập được một mô hình tính toán nước dâng bão cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế rất có ý nghĩa thực tiễn, cho phép tính toán cảnh báo nước dâng bão cho khu vực này. Mô hình được tính toán kiểm nghiệm với một số trường hợp bão quá khứ và so sánh với số liệu đo mực nước thực tế dưới tác động của triều và gió mùa tại khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế. Sau đó nước dâng và ngập lụt dưới tác động của bão Xangsane (2006) được tính toán thử nghiệm để xây dựng bản đồ ngập lụt do nước dâng cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế.

## 2. Hệ phương trình của mô hình toán

Mô hình toán sử dụng trong nghiên cứu là mô hình đã được phát triển dựa trên hệ phương trình nước nông phi tuyến với cách xấp xỉ thành phần phi tuyến theo phương pháp CIP và sai phân ẩn. Hệ phương trình cơ bản như sau:

Phương trình bảo toàn động lượng:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial x} + fV + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho(h + \zeta)} + M_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_a}{\partial y} - fU + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho(h + \zeta)} + M_y \quad (2)$$

Phương trình bảo toàn khối lượng:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial(h + \zeta)U}{\partial x} + \frac{\partial(h + \zeta)V}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

trong đó:  $U, V$  là các thành phần vận tốc trung bình độ sâu theo phương  $x$  và phương  $y$ , tương ứng;  $\zeta$  là độ dịch chuyển của mặt nước theo phương đứng;  $P_a$  là áp suất khí quyển bề mặt;  $g$  là gia tốc trọng trường;  $f$  là tham số Coriolis;  $h$  là độ sâu nước yên tĩnh;  $\tau_{sx}, \tau_{sy}$  là các thành phần ứng suất gió mặt;  $\tau_{bx}, \tau_{by}$  là các thành phần ứng suất ma sát đáy;  $M_x, M_y$  là các thành phần ma sát nhớt rôi.

Các thành phần ma sát đáy và nhớt rôi được xác định như sau:

$$\tau_{bx} = C_b \rho U \sqrt{U^2 + V^2}, \quad \tau_{by} = C_b \rho V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \tau_{sx} &= C_w \rho_a U_a \sqrt{U_a^2 + V_a^2}, \\ \tau_{sy} &= C_w \rho_a V_a \sqrt{U_a^2 + V_a^2} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial U}{\partial y}, \\ M_y &= \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial V}{\partial y} \end{aligned} \quad (6)$$

với  $D_x, D_y$  là các hệ số nhớt rôi theo phương  $x$  và phương  $y$ .

Các điều kiện biên áp dụng cho bài toán được chọn là: tại biên cứng sử dụng điều kiện biên không thấm; tại biên lòng là điều kiện phát xạ tự do.

Hệ số ma sát gió được lấy theo Wilson (1960) đã được nhiều tác giả trên thế giới sử dụng và kiểm nghiệm là tốt.

$$C_w = \begin{cases} 1.1 \times 10^{-3} & W \leq 2.8 \\ (0.9 + 0.08W) \times 10^{-3} & 2.8 < W < 20 \\ 2.6 \times 10^{-3} & W \geq 20 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó  $W$  là tốc độ gió 10m trên mặt biển đo bằng m/s.

### 3. Phương pháp số và cách giải

Do có ảnh hưởng của vùng đất thấp bị ngập nước do nước dâng nên việc giải hệ phương trình nước nông trên cho bài toán ngập lụt cần được thực hiện với sơ đồ toán ổn định cao. Trước hết ta lựa chọn vị trí các biến đặt trên hệ lưới so le: các biến  $U, V$  được đặt tại các cạnh của ô lưới chữ nhật còn biến  $\zeta$  được xác định tại tâm của ô lưới (như sơ đồ Akagawa-C). Phương trình (1) và (2) được viết lại dưới dạng đơn giản như sau:

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= -F(U, V, h, \dots) - g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial t} &= -G(U, V, h, \dots) - g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \end{aligned} \quad (7)$$

trong đó hàm  $F$  và  $G$  chứa đựng các thành phần còn lại trong phương trình (1) và (2).

Ở đây sử dụng phép sai phân tương tự như phương pháp SMAC (Simplified Marker and Cell Method) cho phương trình (6) và (7). Đối với bước thời gian cho trước  $n$  trường vận tốc dự đoán cho bước thời gian tiếp theo được xác định hiện thông qua các phương trình bảo toàn động lượng gọi là bước 1:

$$U^{(n+1)*} = U^n + \Delta t \left( -g \frac{\partial \zeta^n}{\partial x} - F(U, V, h, \dots) \right) \quad (8)$$

$$V^{(n+1)*} = V^n + \Delta t \left( -g \frac{\partial \zeta^n}{\partial y} - G(U, V, h, \dots) \right) \quad (9)$$

Chỉ số dấu sao ở trên cho biết trường vận tốc dự đoán ban đầu (predicted velocity) ở bước thời gian  $n + 1$ . Trường vận tốc dự đoán này có thể sai lệch so với trường vận tốc thực do có sự thay đổi của dao động mực nước  $\Delta \zeta$  ở thời điểm mới, do đó vận tốc ở thời điểm  $n + 1$  được xác định từ trường vận tốc dự đoán ban đầu:

$$U^{n+1} = U^{(n+1)*} + \Delta t \left( -g \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial x} \right) \quad (10)$$

$$V^{n+1} = V^{(n+1)*} + \Delta t \left( -g \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial y} \right) \quad (11)$$

$$\text{và } \zeta^{n+1} = \zeta^n + \Delta \zeta \quad (12)$$

Từ phương trình bảo toàn khối lượng thấy nếu nhân các vế của phương trình (10), (11) với đại lượng  $(h + \zeta)$  và lấy đạo hàm tương ứng theo  $x$  và theo  $y$  rồi cộng lại ta thu được phương trình Poisson cho gia số  $\Delta \zeta$  như sau:

$$-\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \left( \frac{\partial U^{(n+1)*} H}{\partial x} + \frac{\partial V^{(n+1)*} H}{\partial y} \right) = -g \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( H \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( H \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial y} \right) \right\} \quad (13)$$

trong đó  $H = (h + \zeta^n)$

Nếu lấy xấp xỉ sai phân cho đạo hàm thời gian của  $\zeta$  và sử dụng phương trình (12) ta thu được phương trình sau:

$$\frac{\Delta \zeta}{\Delta t} - g \Delta t \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left( H \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( H \frac{\partial \Delta \zeta}{\partial y} \right) \right\} = - \left( \frac{\partial U^{(n+1)*} H}{\partial x} + \frac{\partial V^{(n+1)*} H}{\partial y} \right) \quad (14)$$

Sai phân hoá phương trình (14) cho các đạo hàm không gian trên lưới so le với ẩn là độ tăng mực nước  $\Delta \zeta$  sẽ nhận được một hệ phương trình đại số tuyến tính với ma trận đối xứng có hệ số trên đường chéo chính xác định dương. Hệ phương trình đại số tuyến tính này có thể giải lập bằng phương pháp SOR hay CG rất hiệu quả. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp BiCGSTAB (Bi-Conjugate Gradient của van der Vort (1992).

Với phép sai phân như trên, có thể tóm lược qui trình giải nghiệm như sau:

**Bước 1:** tính toán trường vận tốc dự đoán ban đầu sử dụng phương trình (8) và (9). Trong đó các thành phần bình lưu phi tuyến, nhớt, Coriolis và ma sát được xác định theo các sơ đồ tùy chọn, ở đây đã sử dụng phương pháp xấp xỉ CIP có độ chính xác bậc 3 của Yabe và Aoki (1991) [3].

**Bước 2:** giải hệ phương trình đại số tuyến tính cho  $\Delta\zeta$  từ phương trình (14) với các giá trị  $H$  và  $U^{(n+1)*}$ ,  $V^{(n+1)*}$  đã biết từ bước 1.

**Bước 3:** các giá trị  $U^{n+1}$ ,  $V^{n+1}$  và  $\zeta^{n+1}$  ở bước thời gian cần tìm được xác định từ phương trình (10), (11) và (12).

**Bước 4:** gán các giá trị bước thời gian  $n+1$  cho bước  $n$  rồi tiếp tục qui trình cho các bước thời gian tiếp theo.

#### 4. Kết quả và thảo luận

##### Miền tính, biên tính

**Miền tính:** Khu vực tính toán bao gồm 3 miền, toàn biển Đông, khu vực biển ven bờ Miền Trung và khu vực biển ven bờ tỉnh Thừa Thiên Huế. Mục tiêu là mô phỏng thống nhất được hệ thống diễn biến thủy triều của biển Đông, từ đó làm biên cho các miền nhỏ hơn để có thể chi tiết hoá tính toán cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế. Các khu vực tính toán được trình bày trên hình 1. Chi tiết lưới các miền tính toán như sau:

**Miền 1:** Toàn khu vực biển Đông có lưới tính 8 phút, địa hình sử dụng là địa hình chi tiết 1 phút được lấy từ NOAA. Khu vực ven bờ được chồng gập bằng địa hình đo đạc từ hải đồ 1:100.000 cho toàn vùng ven bờ (kể thừa từ dự án “Xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt do sóng thần vùng ven bờ biển Việt Nam”) [3].

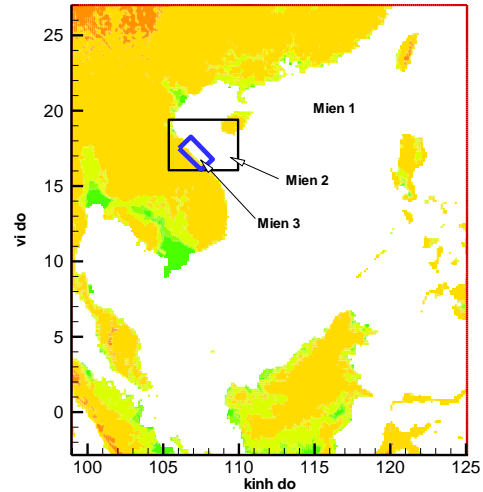
**Miền 2:** Khu vực biển bao Miền Trung với lưới tính 1 phút.

**Miền 3:** Khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế với lưới tính 250 m. Địa hình được lấy từ các bản đồ 1:25.000. Khu vực tính được xoay -35 độ so với hướng đông để tiện cho tính toán.

**Biên tính:** Biên tính toán của Miền 1 là hằng số điều hoà thủy triều của 8 sóng chính từ lưới toàn cầu  $\frac{1}{4}$  độ được cung cấp từ chương trình TOPEX/Poseidon.

Biên tính toán của Miền 2 là biên được lấy và nội suy theo kết quả của tính toán Miền 1.

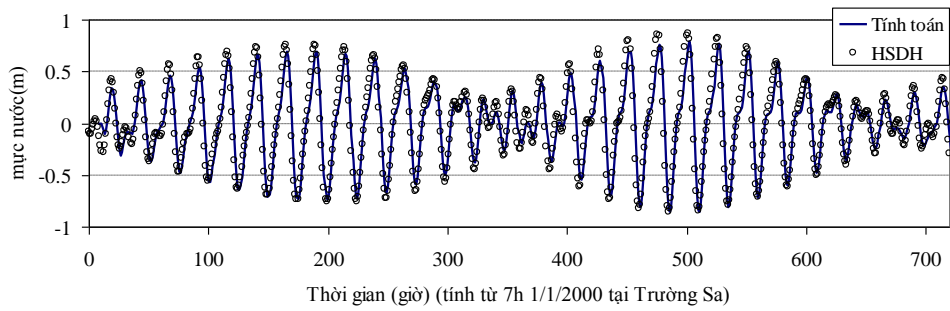
Biên tính toán của Miền 3 là giá trị được nội suy từ kết quả tính toán Miền 2.



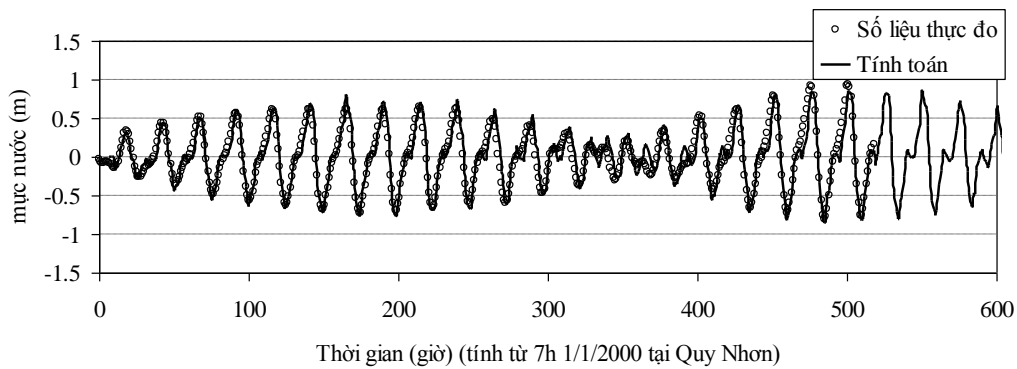
Hình 1. Các miền tính lồng nhau cho bài toán thủy triều và nước dâng bão.

##### Kết quả hiệu chỉnh, kiểm nghiệm với thủy triều, mực nước tổng cộng

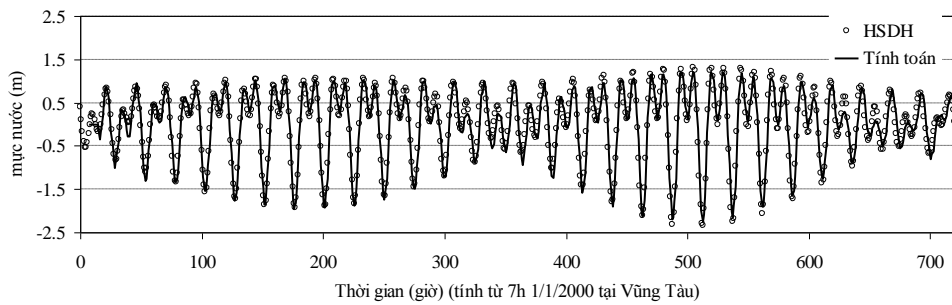
Việc tính toán nước dâng bão kết hợp với thủy triều ven bờ Thừa Thiên Huế đòi hỏi có giá trị thủy triều trên các biên của miền tính, do đó trước hết cần tính toán đúng thủy triều biển Đông. Việc hiệu chỉnh và kiểm nghiệm bài toán thủy triều toàn biển Đông nhằm khẳng định tính đúng đắn của mô hình toán đã phát triển và sẽ làm cơ sở cho việc tính toán nước dâng bão. Các kết quả hiệu chỉnh hệ số ma sát đáy thực hiện theo hàm tỉ lệ độ sâu và được thiết lập trên mô hình toán. Kết quả mô hình được so sánh với chuỗi số liệu tại các trạm đo ven bờ trên dọc bờ biển nước ta, nơi có số liệu nhiều năm và có hằng số điều hoà hoặc bảng thủy triều. Trên hình 2, 3 và 4 trình bày so sánh giữa tính toán và số liệu thực đo hoặc theo hằng số điều hoà tại các trạm Trường Sa, Quy Nhơn và Vũng Tàu.



Hình 2. So sánh dao động triều tại Trường Sa.



Hình 3. So sánh dao động triều tại Quy Nhơn.



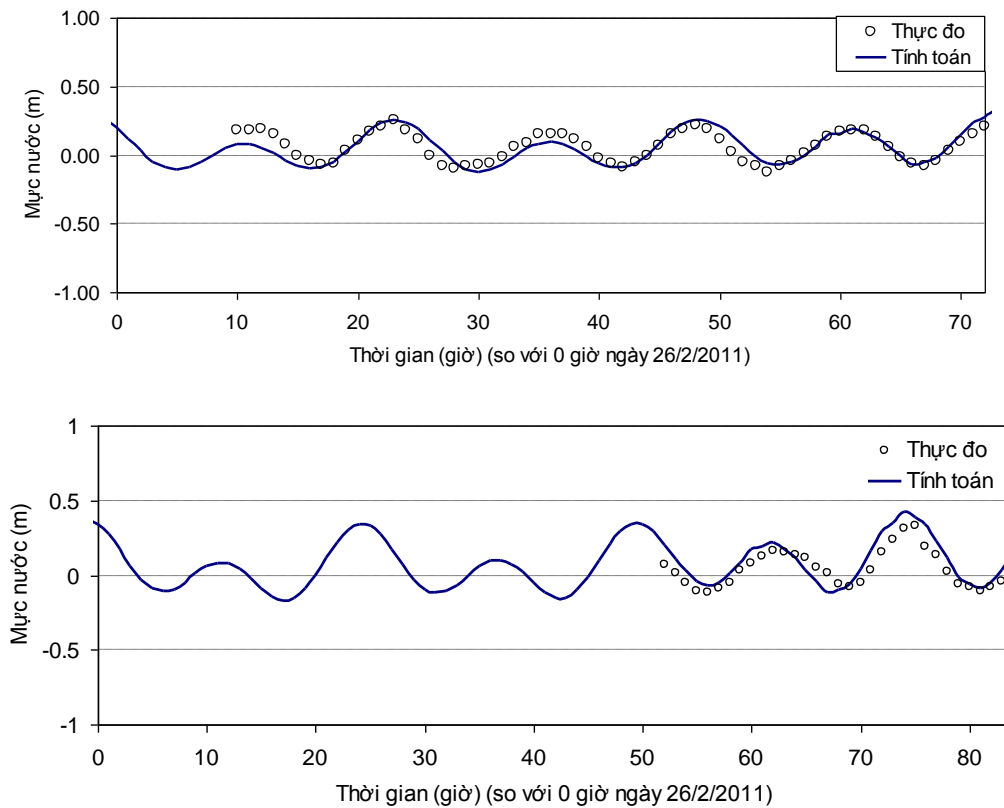
Hình 4. So sánh dao động triều tại Vũng Tàu.

Trên các hình vẽ, dao động mực nước triều trong toàn bộ một tháng tại các trạm đo và kết quả tính toán rất phù hợp cả về pha và biên độ. Đặc biệt tại các điểm Trường Sa và Quy Nhơn sai số giữa tính toán từ mô hình và kết quả thực đo và kết quả hằng số điều hoà là rất nhỏ, cỡ centimet. Như vậy, việc mô phỏng triều biển

Đông bằng mô hình toán lấy các biên triều theo hằng số điều hoà toàn cầu sẽ cho phép tính toán và dự báo triều trên toàn biển Đông và khu vực ven bờ với sai số khá nhỏ. Điều này cho thấy dự báo được biên cho khu vực tính toán ven bờ cụ thể là khu vực biển Miền Trung và Thừa Thiên Huế.

Hình 5 trình bày so sánh dao động mực nước tính toán trong gió mùa Đông Bắc và số liệu thực đo từ ngày 26/2/2011 đến 2/3/2011 (thực hiện đo đạc trong đề tài cấp tỉnh mã số TTH.2010-KC.08). Hình vẽ cho thấy, kết quả tính toán mực nước tổng cộng trong các ngày từ 26/2/2011 đến 2/3/2011 tại hai điểm đo ven bờ

rất phù hợp với số liệu khảo sát thực tế tại hai điểm đo TA1 (phía trái của cửa Thuận An tọa độ 107,695E, 16,535116667N) và TA2 (tọa độ 107,574133E, 16,614783N). Như vậy, mô hình toán kết hợp cả triều và gió cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế là tin cậy để có thể thực hiện tính toán nước dâng trong điều kiện thực tế.



Hình 5. So sánh dao động mực nước tính toán và thực đo ven bờ Thừa Thiên Huế a) tại điểm đo TA1; b) tại điểm đo TA2.

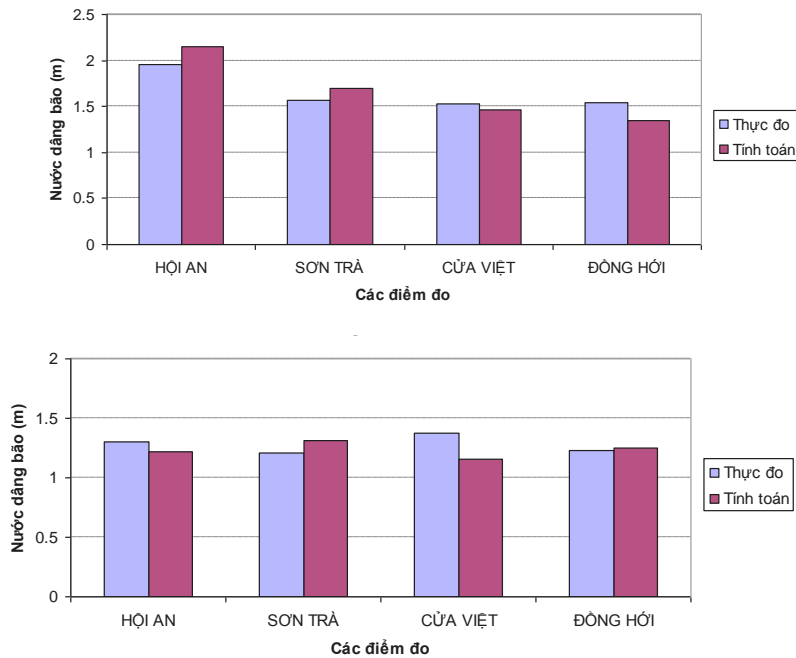
Kết quả tính toán so với số liệu thực đo về mực nước tại hai điểm ven bờ Thừa Thiên Huế cho thấy sự phù hợp ngay cả trong điều kiện có gió mùa đông bắc tác động. Điều này chứng tỏ mô hình đã phát triển trong nghiên cứu này có khả năng tính toán dao động mực nước tổng cộng dưới tác động của triều và gió.

*Kết quả tính toán nước dâng do bão cho các cơn bão quá khứ*

Đối với mô phỏng nước dâng bão, trường gió, áp là nguồn lực rất quan trọng để có thể mô phỏng tốt nước dâng ven bờ. Trường gió, áp đầu vào được lấy từ kết quả mô phỏng và phân tích cơn bão quá khứ, sử dụng mô hình WRF [4, 5]. Các cơn bão được sử dụng để hiệu chỉnh

hệ số gió cho mô hình nước dâng là XANGSANE (2006), KAITAK (2005). Các cơn bão sử dụng kiểm chứng lại mô hình cho khu vực là SONTINH (2012) và VICENTE (2005). Trên Hình 6 và Hình 7 trình bày kết quả tính toán nước dâng trong cơn bão XANGSANE và KAITAK. Trên hình vẽ so sánh kết quả tính toán nước dâng tổng cộng so với số liệu đo đạc thực tế tại các trạm hải văn ven bờ trong thời gian bão đổ bộ. Kết quả tính toán và thực đo khá phù hợp, sai số giữa thực đo và tính toán trong khoảng 20cm. Trong hai cơn bão sử dụng tính toán, việc hiệu chỉnh hệ số

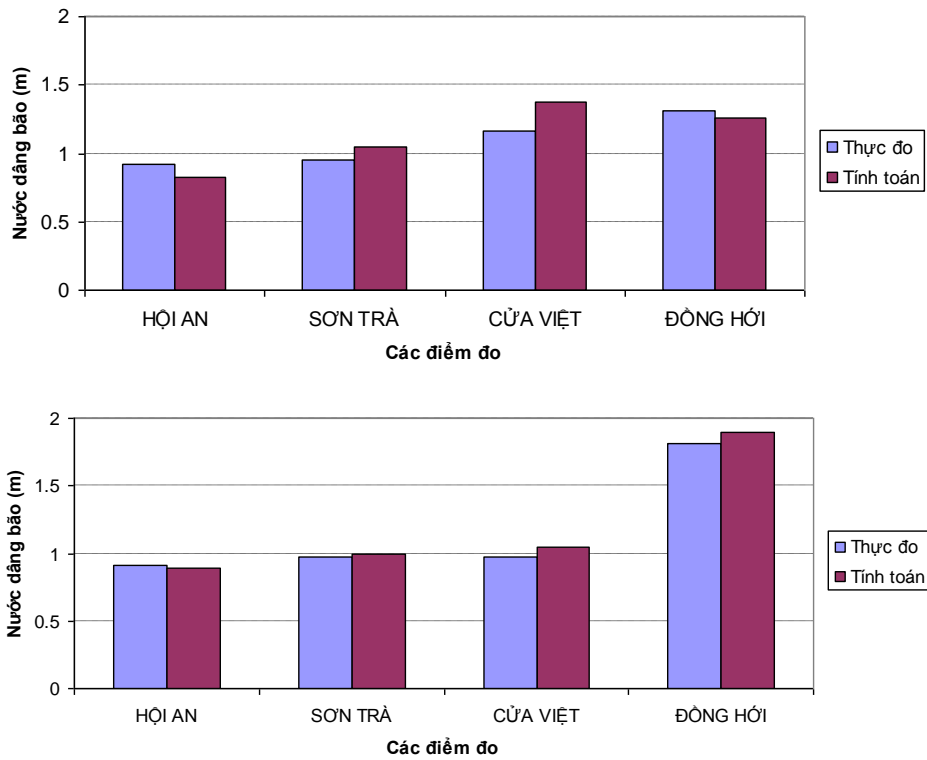
gió ma sát mặt trong công thức của Wilson (1960) được chọn sao cho nước dâng cực đại phù hợp giữa tính toán và thực đo. Sau khi hiệu chỉnh cho thấy, hệ số gió theo Wilson hơi nhỏ và cần đưa thêm vào một hệ số nhân lớn hơn 1. Kết quả cuối cùng phù hợp nhất cho thấy hệ số này tăng khoảng 32% so với công thức nguyên bản của Wilson (1960). Hệ số này sau đó đã được áp dụng để tính toán kiểm chứng cho 2 cơn bão là VICENTE (2005) và SONTINH (2012) để kiểm tra với kết quả đo đạc tại 4 điểm có số liệu nêu trên.



Hình 7. Nước dâng tổng cộng cực đại trong bão KAITAK (2005).

Các kết quả kiểm chứng cho cơn bão SONTINH và cơn bão VICENTE được so sánh với số liệu nước dâng cực đại tổng cộng tại các trạm đo và trình bày trên Hình 8 và Hình 9. Hình vẽ 8 và 9 cho thấy kết quả tính toán khá phù hợp với thực đo, sai số tuyệt đối với nhỏ hơn 20cm, cùng bậc với bước hiệu chỉnh. Với cơn bão SON TINH (2012), kết quả tính toán và thực đo hơi có khác biệt, có trạm giá trị tính toán lớn hơn thực đo, có trạm tính toán lại nhỏ

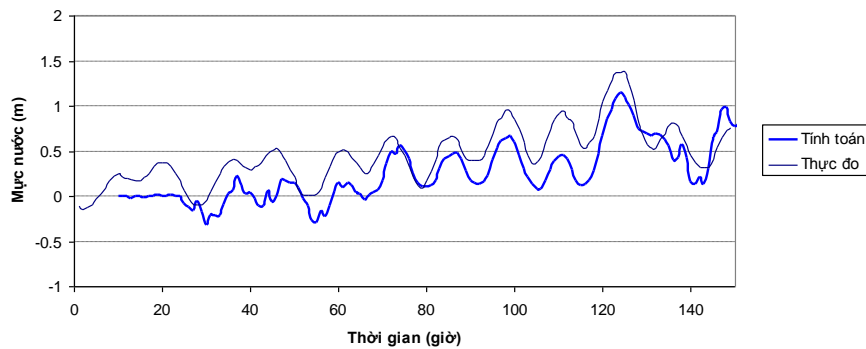
hơn thực đo nhưng vẫn trong phạm vi nhỏ hơn 20cm, chấp nhận được. Đối với bão VICENTE(2005) đa phần kết quả tính toán thiên cao hơn thực đo đôi chút, sai số khá nhỏ cỡ 10cm với những điểm có nước dâng cực đại hơn 1m, còn với các điểm nước dâng cực đại nhỏ hơn 1m thì sai số nhỏ hơn 10cm. Như vậy, với bão VICENTE(2005) kết quả tính toán nước dâng bão là rất tốt.



Hình 9. Nước dâng tổng cộng cực đại trong bão VICENTE (2005).

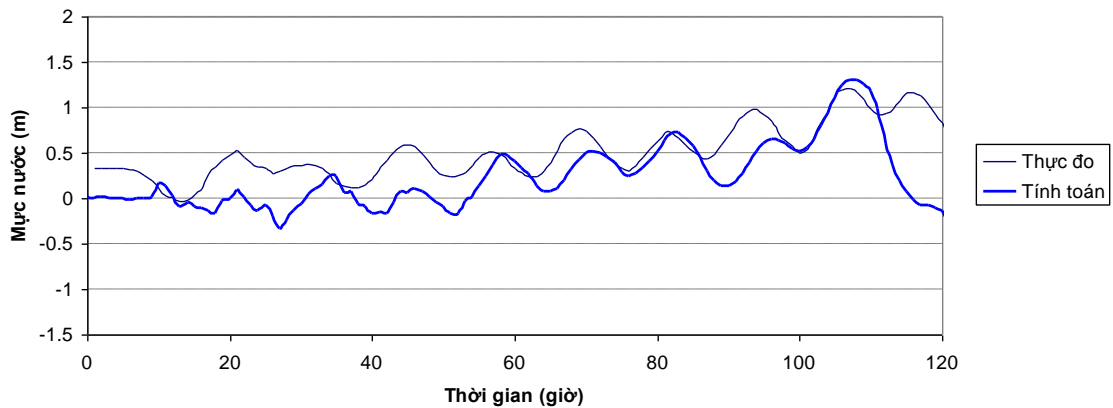
Các kết quả tính toán trên cho thấy mô hình xây dựng đã mô phỏng được nước dâng bão, đặc biệt là giá trị cực đại của nước dâng bão trên nền thủy triều thực. Trên Hình 10 và 11 là dao động mực nước bao gồm cả triều và nước

dâng tại các điểm Cửa Việt và Sơn Trà. Trên các hình này cho thấy mô hình đã mô phỏng khá phù hợp giữa diễn biến mực nước thực đo và tính toán trong khi bão tác động trên nền thủy triều.



Hình 10. Dao động mực nước tổng cộng trong khi bão KAITAK(2005) tác động tại trạm Cửa Việt.





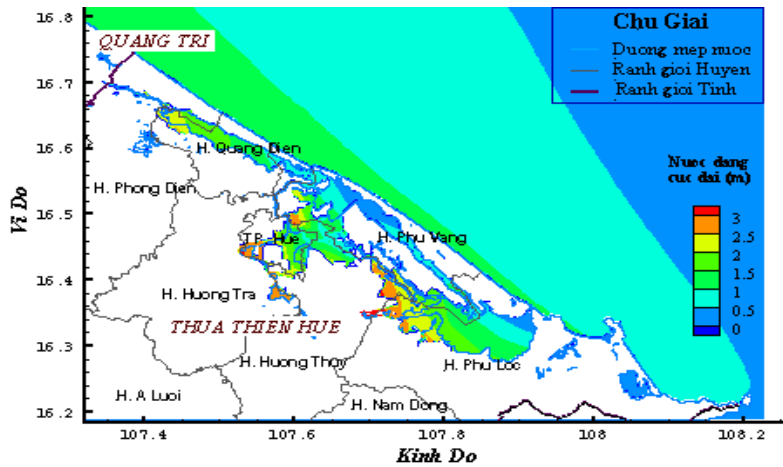
Hình 11. Dao động mực nước tổng cộng khi bão KAITAK(2005) tác động tại trạm Sơn Trà.

Tính toán nước dâng ngập lụt cho khu vực Thừa Thiên Huế được thử nghiệm tính toán với cơn bão Xangsane (2006). Đây là cơn bão mạnh đổ bộ vào Đà Nẵng và đã gây ngập lụt lớn cho Thừa Thiên Huế. Tính toán được thực hiện với trường khí tượng phục hồi theo mô hình WRF [3, 4]. Kết quả tính toán phân bố nước dâng ven bờ được trình bày trên Hình 12. Trên Hình 13 là bản đồ phân bố ngập lụt do nước dâng bão (không tính đến mưa lũ đổ về đầm phá).

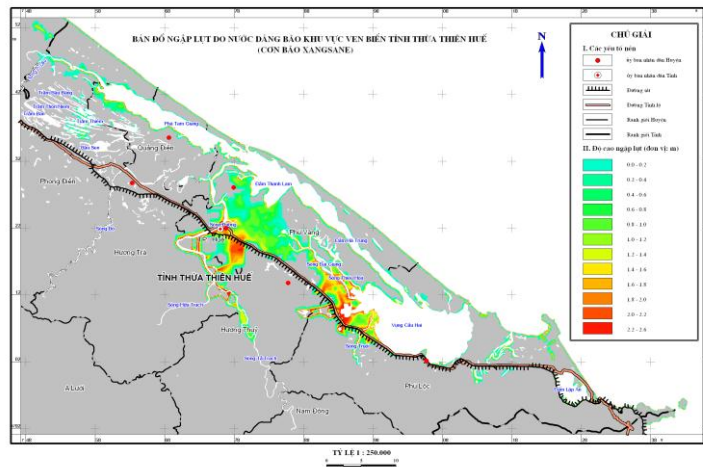
Kết quả tính toán đối với bão Xangsane (2006) cho thấy mức độ nước dâng bão trong khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế cỡ từ 1,0m đến 1,5m. Tuy nhiên, diện ngập lụt do nước dâng bão phía trong khu vực ven đầm phá lại không lớn so với thực tế ngập lụt tại Thừa Thiên Huế đã xảy ra. Điều này cho thấy, nước dâng bão có thể không phải là nguyên nhân chính gây ngập lụt phía trong đầm phá mà chủ yếu do mưa lũ đổ về. Nước dâng bão chỉ có tác động ngăn cản thoát lũ khỏi đầm phá và làm gia tăng ngập lụt phía trong do mưa lũ.

### 5. Kết luận

Mô hình tính toán nước dâng bão có tính đến ngập lụt vùng đất thấp và có kết hợp với thủy triều đã được phát triển và tính toán kiểm nghiệm trong một số điều kiện cụ thể. Kết quả hiệu chỉnh mô hình cho thấy, mô hình có khả năng không chỉ mô phỏng tốt thủy triều trên biển Đông và ven bờ mà còn tính toán nước dâng trong bão khá tốt. Hệ số gió lấy theo công thức Wilson (1960) cần gia tăng thêm khoảng 32% thì phù hợp cho bài toán nước dâng khu vực ven bờ. Kết quả tính toán cũng cho thấy, việc kết hợp tính nước dâng bão trên nền thủy triều và sử dụng kết quả dự báo trường khí tượng từ mô hình WRF cho phép tính toán mực nước tổng cộng khá phù hợp và có khả năng tính toán dự báo nước dâng bão. Tính toán nước dâng và ngập lụt ven bờ đã thực hiện thử nghiệm cho khu vực ven bờ Thừa Thiên Huế dưới tác động của cơn bão Xangsane (2006). Kết quả xây dựng được bản đồ ngập lụt do nước dâng bão.



Hình 12. Bản đồ phân bố nước dâng bão cực đại (bão XANGSANE (2006)).



Hình 13. Bản đồ ngập lụt do nước dâng bão (bão XANGSANE (2006)).

**Lời cảm ơn**

Nội dung trình bày trong bài báo phần lớn là kết quả của đề tài KHCN cấp tỉnh mã số TTH.2010-KC.08 được ngân sách nhà nước tỉnh Thừa Thiên Huế đầu tư. Qua đây, các tác giả bài báo xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ đó.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Website của tỉnh Thừa Thiên Huế, <http://www.thuathienhue.gov.vn/>
- [2] Niên giám thống kê tỉnh Thừa Thiên Huế, 2005
- [3] Báo cáo tổng kết dự án “Xây dựng hệ thống bản đồ nguy cơ ngập lụt ven bờ biển Việt Nam do sóng thần” 2007.
- [4] Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước “Xây dựng mô hình dự báo các trường khí tượng thủy văn Biển Đông Việt Nam” 2004.
- [5] Báo cáo tổng kết đề tài KC.08.05/06-10. 2009.

## Numerical simulation of storm surge with tide for the coastal area of Thua Thien Hue province

Do Dinh Chien<sup>1</sup>, Phung Dang Hieu<sup>2</sup>, Du Van Toan<sup>2</sup>, Nguyen Tho Sao<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Vietnam Institute of Meteorology, Hydrology and Environment, 62 Nguyen Chi Thanh, Hanoi, Vietnam*

<sup>2</sup>*Research Institute for Management of Sea and Island, 125 Trung Kinh, Hanoi, Vietnam*

<sup>3</sup>*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

The paper presents results of verification for a numerical model on simulation of tide and storm surge, and the application for coastal area of Thua Thien Hue province. The numerical model is based on the Nonlinear Shallow Water Equation and discretized by using the SMAC method and 3<sup>rd</sup> order accuracy CIP scheme for the convective terms. Firstly, the model was verified for the problem of tide on the East Sea. Then, the model was calibrated and verified for the problem with the contribution of wind and atmosphere pressure as the driving forces on the water surface. The low land inundation in the coastal area of Thua Thien Hue due to storm surge and tide was computed in the case for the action of typhoon Xangsane 2006. The results of present study showed that the numerical model including the effects of lowland inundation allowed to well reproduce the time variation of water level under the action of both tide and wind. The results of this study also showed that the flood inside the Tam Giang Lagoon mostly due to the heavy rain resulted by typhoon. Sea level rise due to storm surge has mostly contributed to the resistant effect on the seaward water flow from the Lagoon, then resulted in the positive contribution to the flood of the area during typhoon landing.

*Keywords:* Storm surge, Tide, Inundation.

Ai là tác giả liên hệ, ĐT, Email ?